

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



*Una Institución Adventista*

“Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)  
durante el proceso de lavado”

Por:

Alexander Guzmán Manzano

Asesor:

Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Juliaca, mayo de 2017

### Estilo APA

Guzmán Manzano, A. (2017). Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) durante el proceso de lavado. Universidad Peruana Unión, Juliaca.

### Estilo Vancouver

1. Guzmán Manzano, A. Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) durante el proceso de lavado [Tesis]. Juliaca: Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2017.

### Estilo IEE

- [1] A. Guzmán Manzano, «Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) durante el proceso de lavado», Imprenta Unión, Juliaca, 2017.

Ficha catalográfica elaborada por el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación– CRAI – de la UPeU

**TIA** Guzmán Manzano, Alexander  
**2** Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) durante el  
**G98** proceso de lavado / Autor: Alexander Guzmán Manzano; Asesor: Dr. Augusto  
**2017** Pumacahua Ramos. -- Juliaca, 2017.  
113 páginas: anexos, ecuaciones, figuras, tablas.

Tesis (Licenciatura) -- Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y  
Arquitectura. EP. de Ingeniería de Industrias Alimentarias, 2017.

Incluye referencias y resumen.

Campo del conocimiento: Ingeniería de Alimentos.

1. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) perlada.
2. Gelatinización de almidón.
3. Propiedades de pasta.
4. Análisis rápido de viscosidad (RVA).

**CDD 664.2**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Dr. Augusto Pumacahua Ramos, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "PROPIEDADES DE PASTA EN HARINA DE QUINUA (*Chenopodium Quinoa* Willd) DURANTE EL PROCESO DE LAVADO" constituye la memoria que presenta el Bachiller Alexander Guzmán Manzano para aspirar el título de Profesional de Ingeniero de Alimentos ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los veinte nueve días del mes de mayo del año dos mil diecisiete.



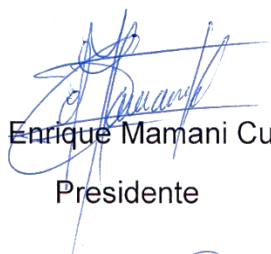
Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Propiedades de pasta en harina de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)  
durante el proceso de lavado


# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos

## JURADO CALIFICADOR




Ing. Enrique Mamani Cuela  
Presidente



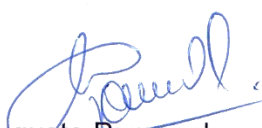
Ing. Nancy Curasi Rafael  
Secretaria



Ing. Ana Mónica Torres Jiménez  
Vocal



Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez  
Vocal



Dr. Augusto Pumacahua Ramos  
Asesor

Juliaca, 29 de mayo de 2017

## DEDICATORIA:

*Dedico esta investigación con todo cariño y amor a mi Padre Tomás Guzmán Osteriano y a mi madre Ilda Margarita Manzano Mamani, por su apoyo y amor incondicional, por su ejemplo a seguir y por nunca perder las esperanzas en mí y brindarme de sus sabios consejos que marcaron mi vida, desde el comienzo de mi vida universitaria. Por todo el amor brindado durante estos años y encomendarme cada mañana en oración en las manos de nuestro creador y por darme la oportunidad de crecer y formarme profesionalmente con perseverancia y entrega, como ellos me lo enseñaron.*

*Así también esta investigación se la dedico de manera muy especial a mis amados hermanos Súsán Tania Guzmán Manzano y Hernán Tomasini Guzmán Manzano, por ser mi inspiración de seguir adelante con perseverancia y optimismo. Porque ellos son mi motivación de superarme en la vida y esforzarme en trazar un camino en el cual ellos puedan continuar. Porque en todo este tiempo siempre estuvieron acompañándome con sus bromas, palabras de aliento y preocupaciones.*

*A mi gran amigo Daniel Humberto Apaza Carita, por haberme brindado su amistad incondicional a lo largo de los años recorridos en la Universidad y en el trabajo, y porque siempre se mostró más que un amigo, como un hermano compartiendo alegrías y tristezas en todo este tiempo. Por mostrarme del amor de Dios con el ejemplo y porque estoy seguro de que siempre podré contar con él.*

*A Ruth Joella Zavala Cuentas, por haber formado una parte muy importante en mi vida. Por haberme permitido ser parte de su vida. Y por el amor incondicional que me demostraste de mil maneras. Tu afecto y tu cariño, fueron detonantes de mi felicidad y de mi esfuerzo.*

*A mí ayuda idónea Abigail; porque, aunque este no sea su nombre real, todo este tiempo ella fue mi “motivo de alegría” e inspiración para crecer cada día como persona, como profesional, como hijo, como hermano, como padre y como esposo. Y por sembrar en mí todo este tiempo el deseo en mi corazón de pedirle a Dios cada mañana en oración que sea él quien me ayude a ser su complemento idóneo para esta vida y para la eternidad. Mi motivo de alegría; esta Investigación te la dedico con todo el Amor que sólo nuestro Padre celestial me puede brindar para compartirlo contigo hasta que Cristo vuelva por nuestro hogar.*

**“Alexander Guzmán Manzano”**

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradecer a Dios, porque a pesar de ser un ser imperfecto, no escatimo esfuerzos para perdonarme una y otra vez y así demostrarme que la vida del cristiano y del éxito no consiste en no cometer errores, sino en aprender a levantarse de ellos y perseverar junto a Cristo. Y hacer realidad en mi vida esta promesa: “Porque te tomé de los confines de la tierra, y de tierras lejanas te llamé, y te dije: Mi siervo eres tú; te escogí, y no te deseché. No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia” (Isaías 41:9,10).*

*Agradezco a la Empresa DEGUSTE GROUP S.A.C., por abrirme las puertas de sus instalaciones para poder llevar a cabo este trabajo de investigación. Y a todo su personal por brindarme todas las facilidades.*

*Agradezco de forma muy especial a mi Asesor Dr. Augusto Pumacahua Ramos, por su enorme y valioso apoyo en la dirección y desarrollo de este proyecto, además de sus enseñanzas incitándome a la responsabilidad y calidad profesional, agradezco la confianza depositada en mí.*

*A la Ing. Carmen Apaza Humerez y al Ing. Edgar Mayta Pinto, por su amistad, dedicación y orientación para el desarrollo del proyecto y por su ayuda con mis dudas e inquietudes.*

*Agradezco también a mis profesores de escuela, en especial al Ing. Guido Fulgencio Anglas Hurtado, Ing. Enrique Mamani Cuela, a la Dra. Nélide Gladys Maquera Sosa, al MSc. Daniel Sumire Qqenta, al Ing. Alex Danny Chambí Rodríguez, a la Ing. Nancy Rafael y a la Ing. Mónica Torres Jiménez; por su ayuda académica y a la vez me permitió crecer como persona y profesional.*

*Agradezco grandemente a mí querida amiga Yovana Huayto Cupi, por haberme apoyado en todo este tiempo, con sus consejos, palabras de aliento y sobre todo con sus oraciones. Por mostrarse una gran amiga que me inspira crecer como persona y profesional. Y por motivarme a acercarme cada día más a Dios y poner nuestra vida al servicio de nuestro Dios y de la sociedad.*

*En fin, a todas las personas y circunstancias brindadas por Dios que influyeron positivamente en mi formación. Fueron muchas las personas que podrían aumentar esta lista. Si me olvido de alguien, también para él o ella mi eterna gratitud.*

**A todos muchas gracias.**

*“Y dijo Dios: He aquí que os he dado toda hierba que da semilla que está sobre la faz de toda la tierra; y todo árbol en que hay fruto de árbol que da semilla os será para comer.” (Génesis 1:28), “Los cereales, las frutas carnosas, los frutos oleaginosos, las legumbres y las hortalizas constituyen el alimento escogido para nosotros por el creador. Preparados del modo más sencillo y natural posible, son los comestibles más sanos y nutritivos. Comunican una fuerza, una resistencia y un vigor intelectual que no pueden obtenerse de un régimen alimenticio más complejo y estimulante.*

*(Elena Harmon, 1905)*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT .....	xix
CAPÍTULO I.....	20
PROBLEMA.....	20
1.1. Objetivo General .....	21
1.2. Objetivos específicos .....	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Quinua .....	26
2.2.1. Morfología y Estructura de los granos .....	27
2.2.1.1. Fruto del grano de quinua .....	27
2.2.1.2. Semilla .....	27
2.2.2. Quinua perlada .....	30
2.2.2.1. Descripción de proceso para la obtención de quinua perlada.....	31
2.2.2.2. Descripción del proceso productivo.....	32
2.3. Saponina.....	35
2.3.1. Desaponificado de la quinua .....	35
2.3.1.1. Procesos tradicionales de desamargado.....	35
2.3.1.2. Procesos secos a temperatura ambiente .....	35
2.3.1.3. Procesos con uso de calor seco.....	36
2.3.1.4. Procesos húmedos .....	36
2.3.2. Métodos de determinación de saponina.....	36
2.3.2.1. Método de la espuma.....	37
2.3.2.2. Método normal .....	37
2.3.2.3. Método rápido .....	38
2.4. Almidón.....	41
2.4.1. Composición química del almidón.....	44
2.4.1.1. Amilosa .....	44
2.4.1.2. Amilopectina .....	44
2.4.2. Estructura interna y cristalinidad del almidón .....	45

2.4.3.	Propiedades de pasta de los almidones .....	47
2.4.3.1.	Gelatinización .....	48
2.4.3.2.	Retrogradación .....	50
2.4.4.	Analizador rápido de viscosidad (RVA) .....	51
CAPÍTULO III.....		57
MATERIALES Y MÉTODOS.....		57
3.1.	Lugar de investigación .....	57
3.2.	Materia prima, materiales y equipos.....	57
3.2.1.	Materia prima .....	57
3.2.2.	Materiales .....	57
3.2.3.	Equipos y Maquinarias.....	58
3.3.	Metodología Experimental.....	58
3.3.1.	Determinación de los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad .....	61
3.3.1.1.	Determinación de los niveles de las variables independientes y dependientes .....	61
3.3.1.2.	Determinación del Diseño experimental para optimización de parámetros de temperatura de lavado y secado .....	62
3.3.2.	Determinación de las propiedades de pasta, mediante el análisis rápido de viscosidad (RVA) .....	62
3.3.2.1.	Obtención de harina de quinua en base a los parámetros de lavado y secado .....	62
3.3.2.2.	Determinación de los niveles de las variables independientes y dependientes .....	63
3.3.2.3.	Determinación de las propiedades de pasta, mediante el análisis rápido de viscosidad (RVA) .....	63
CAPÍTULO IV .....		66
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		66
4.1.	Resultados de los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad .....	66
4.1.1.	Evaluación de la Saponina.....	67
4.1.2.	Evaluación de la humedad .....	72
4.2.	Optimización de los parámetros de lavado y secado.....	77
4.3.	Determinación de las propiedades de pasta, mediante un análisis rápido de viscosidad (RVA) .....	78
CAPÍTULO V .....		82

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	82
5.1. Conclusiones .....	82
5.2. Recomendaciones .....	83
REFERENCIAS .....	84
<b>ANEXOS</b> .....	<b>90</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación del contenido de saponinas en granos de quinua por el método de espuma.....	39
Tabla 2. Contenido de saponinas en variedades de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) de diferente origen.....	40
Tabla 3. Propiedades de pasta de los almidones de cuatro variedades extraídos mediante molienda húmeda .....	56
Tabla 4. Niveles utilizados para las variables independientes para la optimización de parámetros .....	61
Tabla 5. Niveles utilizados para las variables dependientes.....	61
Tabla 6. Valores decodificados de las variables independientes del diseño compuesto central: 2 <sup>2</sup> +estrella el cual estudió los efectos de 2 factores en 10 corridas.....	62
Tabla 7. Niveles utilizados para las variables independientes.....	63
Tabla 8. Niveles utilizados para las variables dependientes.....	63
Tabla 9. Valores decodificados de las variables independientes el cual estudió los efectos de 2 factores en 11 corridas.....	64
Tabla 10. Resultados de los porcentajes de saponina y humedad durante el proceso de lavado y secado de quinua.....	66
Tabla 11. Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de saponina .....	71
Tabla 12. Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de humedad.....	76
Tabla 13. Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de humedad y saponina.....	78
Tabla 14. Resultados de las propiedades de pasta de 11 muestras, mediante RVA.....	78
Tabla 15. Picos de viscosidad durante calentamiento en el análisis de RVA. ....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista del grano, pericarpio, endospermo y gránulos de almidón de quinua ( <i>Chenopodium quínoa</i> Willd) al microscopio electrónico de barrido .....	27
Figura 2. Sección longitudinal media del grano de quinua ( <i>Chenopodium quínoa</i> Willd). ...	28
Figura 3. Corte transversal de la semilla de quinua. ....	29
Figura 4. Células del perisperma con los gránulos de almidón en quinua.....	29
Figura 5. Tejidos del cotiledón en el embrión de la quinua .....	29
Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de quinua perlada. ....	31
Figura 7. Unidad estructural básica de la amilosa.....	44
Figura 8. Estructura de amilopectina. Fuente: Acosta, 2013. ....	45
Figura 9. Patrones de difracción de rayos x de almidones A, B y C.....	46
Figura 10. Almidón de diversas fuentes.....	48
Figura 11. Proceso de gelatinización del almidón.....	48
Figura 12. Comportamiento del almidón durante la conversión en exceso de agua.....	49
Figura 13. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón nativo.....	50
Figura 14. Perfil de viscosidad aparente de un RVA. ....	52
Figura 15. Perfiles de viscosidad mediante RVA de los almidones de variedades de quinua.....	55
Figura 16. Diagrama de bloques para la obtención de quinua perlada de la empresa Deguste.....	58
Figura 17. Esquema experimental de la evaluación de parámetros de saponina, humedad y propiedades de pasta en las harinas de quinua.....	65
Figura 18. Diagrama de Pareto estandarizada para porcentaje de saponina. ....	67
Figura 19. Diagrama de prueba de Tukey para % de saponina por el tratamiento de lavado.....	68
Figura 20. Diagrama de prueba de Tukey para el % de saponina por el tratamiento de secado.....	68
Figura 21. Gráfica de efectos principales para el porcentaje de saponina.....	69
Figura 22. Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada del porcentaje de Saponina. ....	70
Figura 23. Gráfico de Superficie de Respuesta estimada del porcentaje de saponina. ....	70
Figura 24. Efecto de la temperatura en la solubilidad de sólidos en líquidos.....	71
Figura 25. Diagrama de Pareto Estandarizada para % de humedad.....	72
Figura 26. Diagrama de prueba de Tukey para % de humedad por el tratamiento de lavado.....	73
Figura 27. Diagrama de prueba de Tukey para % de humedad por el tratamiento de secado.....	74
Figura 28. Gráfica de efectos principales para porcentaje de humedad.....	74
Figura 29. Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada para % de humedad.....	75

Figura 30. Gráfico de Superficie de Respuesta estimada para % de humedad.....	76
Figura 31. Gráfico de Optimización estimada para él % de humedad y saponina .....	77
Figura 32. Viscograma de la harina de quinua de las 11 muestras .....	79
Figura 33. Gráfico de barras de la viscosidad en el Pico 1 de la harina de quinua en las once muestras.....	80

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A – Matriz de Indicadores del proyecto de investigación.....	91
Anexo B – Resultados del diseño compuesto central $2^2$ + estrella, en función de los porcentajes de saponina y humedad .....	92
Anexo C – Fotografías del análisis de saponina de la quinua .....	93
Anexo D – Fotografías de las evidencias del molido de quinua .....	94
Anexo E – Requerimientos bromatológicos de la norma técnica peruana para granos de quinua .....	95
Anexo F – Reporte de los análisis de RVA en los laboratorios de GRANOTEC S.A.C. de la muestra 0 al 5.....	97
Anexo G – Reporte de los análisis de RVA en los laboratorios de GRANOTEC S.A.C. de la muestra 6 a la muestra 10 .....	98
Anexo H – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 0 .....	99
Anexo I – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 1.....	100
Anexo J – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 2.....	101
Anexo K – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 3 .....	102
Anexo L – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 4.....	103
Anexo M – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 5.....	104
Anexo N – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 6.....	105
Anexo O – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 7.....	106
Anexo P – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 8 .....	107
Anexo Q – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 9.....	108
Anexo R – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 10.....	109
Anexo S – Análisis de Varianza para los porcentajes de saponina .....	110
Anexo T – Análisis de Varianza para los porcentajes de humedad.....	110
Anexo U – Descripción de la metodología empleada para la determinación de saponina en el grano de quinua.....	111
Anexo V – Descripción de la metodología empleada para la decodificación de los valores del diseño experimental.....	112

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 – Cálculo de peso de saponinas por método normal .....	37
Ecuación 2 – Cálculo de porcentaje de saponinas por método normal .....	37
Ecuación 3 – Cálculo de altura final por método rápido .....	37
Ecuación 4 – Cálculo de peso de saponina por método rápido.....	37
Ecuación 5 – Cálculo de porcentaje de saponina por método rápido.....	37
Ecuación 6 – Ecuación del modelo ajustado para el porcentaje de saponina .....	71
Ecuación 7 – Ecuación del modelo ajustado para el porcentaje de humedad .....	76

## SIMBOLOS USADOS

<b>Símbolos</b>	<b>Significado</b>
a	: Almidón
ARV	: Analizador rápido de viscosidad
ade	: Epidermis superior
abe	: Epidermis inferior.
ac	: Cámara de aire
BJ	: Blanca de Juli
C	: Cotiledones
cm	: Centímetros
cP	: Centipoise
cp	: Polo cotiledonal
DSC	: Calorimetría Diferencial de Barrido
e	: Endospermo
EN	: Endosperma
em	: Embrión
em	: Tejido de empalizada;
F	: Funículo
g	: Gramos
H	: Hipocotilo
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
KA	: Kancolla
mm	: Milímetros
Min	: Minutos
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NTP	: Norma Técnica Peruana
PA	: Pasankalla

pH	: Potencia de Hidrogeniones
P	: Perisperma
PE	: Pericarpio
R	: Radícula
rp	: Polo radicular
RVA	: Rapid visco analysis
RVU	: Viscosidad
RG	: Rango de gelatinización
SI	: Salcedo Inía
SC	: Cubierta de la semilla
SA	: Ápice del meristemo
S.A.	: Sociedad Anónima
sp	: tejido esponjoso
%	: Porcentaje
°T	: Temperatura
Θ	: Tiempo
Tp	: Temperatura de pico
μg	: Microgramo
μm	: Micrómetro
vb	: Haz vascular

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades de pasta en la harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) durante en el proceso de lavado. Fue utilizada quinua orgánica de la variedad Salcedo Inia proveniente de la planta procesadora “DE GUSTE GROUP S.A.C.”. Fueron evaluadas la influencia de las temperaturas del proceso de lavado de 40 a 60 °C y secado de 75 a 95 °C, en el contenido de agua, contenido de saponina y propiedades de pasta de la harina. Se utilizó un diseño compuesto central rotatable:  $2^2$  + estrella. Las propiedades de pasta del almidón fueron analizadas mediante el Analizador rápido de viscosidad (RVA) obteniendo como resultado que para alcanzar un valor óptimo de 0.005% de saponina y 12.85% de humedad, se recomienda aplicar 46 y 80 °C de temperatura de lavado y secado, respectivamente. Los tratamientos no influenciaron negativamente en las propiedades de pasta de la harina de quinua a excepción de la muestra 9. Al contrario, las viscosidades aumentaron comparado a la harina de quinua sin tratamiento. El pico de viscosidad aumentó en 9 tratamientos, y en un tratamiento disminuyó, la máxima viscosidad alcanzada fue de 434 cP, en un tiempo de 10 min. Además, la muestra 1 es el tratamiento que más se aproxima a las características de viscosidad de un producto crudo, siendo favorable aplicar estos parámetros y así obtener un producto sin modificaciones en el almidón. Estas características hacen de la harina de quinua un excelente aditivo en la elaboración de panes, tortas y otros alimentos que requieren retener agua después del cocimiento.

**Palabras Claves:** Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) perlada, Gelatinización de almidón, Propiedades de pasta, Análisis rápido de viscosidad (RVA).

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the pulp properties in quinoa flour (*Quenopodium quinoa* Willd) during the washing process. The influence of the washing process temperatures of 40 to 60 ° C and drying of 75 to 95 ° C in the water content, saponin content and flour properties of the flour were evaluated. A rotating central composite design was used: 2<sup>2</sup> + star. The starch paste properties were analyzed using the Rapid Viscosity Analyzer (RVA). As a result, to achieve an optimum value of 0.005% of saponin and 12.85% of humidity, it is recommended to apply 46 and 80 ° C of washing and drying temperature, respectively. The treatments did not negatively influence the pulp properties of quinoa flour except for sample 9. On the contrary, the viscosities increased compared to untreated quinoa flour. The peak viscosity increased in 9 treatments, and in one treatment decreased, the maximum viscosity reached was 434 cP, in a time of 10 min. In addition, sample 1 is the treatment that most closely approximates the viscosity characteristics of a raw product, it being favorable to apply these parameters and thus to obtain a product without modifications in the starch. These characteristics make quinoa flour an excellent additive in the production of breads, cakes and other foods that require retaining water after cooking.

**Keywords:** Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) pearled, Gelatinization of starch, Properties of pasta, Rapid visco analyzer (RVA).

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA**

La quinua es considerada un grano andino excepcional por sus propiedades nutricionales, sin embargo, existe un factor que limita su procesamiento de quinua perlada; debido a las denominadas saponinas. El efecto tóxico de la saponina de quinua sobre el organismo humano puede estar en discusión. Pero, sin duda, el sabor amargo resultante del alcaloide - glucósido es un impropio para poder ser aprovechado en la alimentación (Guzmán, 2013). Por lo que toda la industria se vio obligada a desarrollar métodos para su eliminación, y hasta hace poco, se veía limitada al secado tradicional exponiéndolo al sol, obteniendo un producto no totalmente homogéneo en tiempos de secados muy demorosos y expuestos a la contaminación microbiológica por aves, roedores, esmog y heces. Por lo tanto, en solución ante esta problemática se han desarrollado diversas tecnologías para optimizar este proceso de eliminación de saponina, entre las cuales podemos mencionar: desaponificación por vía seca (termomecánico), desaponificación por vía seca (escarificación), desaponificación por vapor, desaponificación por vía húmeda, desaponificación combinado o mixto y desaponificación química (Corzo, 2008). Y en esta búsqueda de la eliminación de la saponina para buscar su aceptación organoléptica en el consumidor, la industria recurre a someter en algunos casos a altas temperaturas corriendo el riesgo de obtener un producto cocido provocando modificaciones en la gelificación del almidón. Ya que Acosta (2013), afirma que Los gránulos de almidón se hinchan progresivamente cuando se calientan en agua a 60-70 °C; se disuelven los polímeros lineales más cortos; a temperaturas más altas, los gránulos se gelatinizan. Con la gelatinización se pierde birrefringencia, se desintegra el gránulo y se forma una pasta, un gel o una solución según el origen y la concentración del almidón.

Considerando indispensable la eliminación de la saponina en la quinua orgánica, la empresa "DE GUSTE GROUP S.A.C.", cuenta con un equipo de lavado y secado con flujo de aire seco que permite obtener el grano seco en cortos tiempos, así como también busca reducir el contenido de saponina y humedad presente en el grano de quinua, sin embargo se observó

que a mayor contenido de saponina en el grano; se someten a mayores temperaturas de vapor de lavado y secado, estas alcanzan y son superiores a 60°C, lo cual podría provocar la gelatinización del almidón de la quinua. La gelatinización del almidón es una propiedad importante, porque indica un cambio en su estructura cristalina y en su funcionalidad. Existen varios métodos para determinar las propiedades del almidón, por ejemplo, a través de un analizador rápido de viscosidad (RVA, por sus siglas en inglés Rapid visco Analyzer) es posible determinar diversas propiedades del almidón como la temperatura de gelatinización. En el RVA se pueden calcular otras propiedades del almidón como pico de viscosidad, punto de quiebre, retrogradación y tiempo pico, también es usado para simular procesos de la industria de alimentos y se relaciona con la funcionalidad y las propiedades estructurales del almidón (Acosta, 2013). Así también el establecer parámetros que permitan determinar la temperatura de gelatinización, desde un perfil de RVA del almidón, proporciona una información útil para la empresa ya que podrá ofrecer un producto que mantenga sus propiedades libres de alteraciones en su estructura, garantizando de esta manera que se evite la cocción del producto crudo para su posterior comercialización en el exterior como materia prima, incrementando así el mercado.

Por todo lo sustentado el trabajo proporciona datos de las propiedades de pasta de la harina de quinua durante el procesamiento de perlado; información que nos proporciona parámetros de lavado y secado con flujo de aire seco que se encuentren en niveles de saponina y humedad aceptables y que además permitirán mantener las propiedades del almidón de la quinua logrando así garantizar que se obtenga un producto crudo característico de una materia prima. Por lo tanto, la presente investigación se planteó los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo General**

Determinar las propiedades de pasta en harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) durante en el proceso de lavado.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad.
- Determinar las propiedades de pasta (temperatura de pasta, tiempo de pasta, pico de viscosidad, fuerza de retención, punto de quiebre, viscosidad final y retrogradación) de la harina de quinua, mediante el análisis rápido de viscosidad (RVA).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Rivas (2006), realizó una investigación denominada “Caracterización fisicoquímica y molecular del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Macho) modificado por métodos químicos” donde el objetivo del estudio fue Caracterizar fisicoquímica y molecularmente (calorimetría diferencial de barrido, determinación de cargas, sorción de vapor dinámico, la microscopía de luz polarizada, difracción de rayos X y espectroscopia de infrarrojo) al almidón de plátano modificado por dos métodos químicos (oxidación y lintnerización), y explicar los cambios provocados. El almidón oxidado presentó un grado de sustitución de 0.13 y 0.03 de grupos carbonilo y carboxilo respectivamente; la densidad de carga de este almidón fue más baja ( $6.43 \times 10^{-2}$  C/g a pH 6.55) que la presentó el lintnerizado ( $1.19 \times 10^{-1}$  C/g a pH 6.41) a diferencia del almidón nativo que fue de  $9.65 \times 10^{-2}$  C/g a pH 6.1. Los tres almidones presentaron la refracción de la cruz de Malta por microscopia de luz polarizada; mientras que los patrones de difracción obtenidos presentaron características tanto de un patrón tipo A como de un patrón tipo B. Los almidones nativo y oxidado no presentaron diferencias en cuanto a su perfil de viscosidad, sin embargo, el almidón lintnerizado presentó un perfil de viscosidad menor lo cual indica que la lintnerización provocó una mayor hidrólisis. El perfil calorimétrico de los almidones oxidados y lintnerizado se pudo observar con mayor claridad con el rango de gelatinización (RG), debido a que el almidón lintnerizado fue el que presentó el valor más alto; sin embargo, en los valores de las entalpías de gelatinización el lintnerizado tuvo efecto contrario que en el RG. El almidón oxidado presentó una ligera disminución de la temperatura de pico (Tp) después de 96 h de almacenamiento mientras que en el lintnerizado se mantuvo constante. Los almidones nativos y modificados en las isotermas de sorción mostraron histéresis siendo entonces clasificados como del tipo C. En el análisis por BET, en la etapa de adsorción los valores obtenidos de la constante energética y de la monocapa fueron de 72.81

y 6.24 para el nativo, 83.10 y 6.33 para el oxidado y de 82 y 6.09 (g H<sub>2</sub>O/g muestra) para el linterizado respectivamente.

Espinoza (2008), realizó una investigación denominada “Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica* L.) Y plátano (*Musa paradisiaca* L.)” donde el objetivo del estudio fue determinar la estructura y propiedades fisicoquímicas de los almidones aislados de mango y plátano en estado inmaduro. La distribución de la longitud de las cadenas de amilopectina de mango mostró mayores cantidades de cadena de longitud larga y corta, y la amilopectina de plátano presentó altas cantidades de cadenas largas, ambos comparados con la amilopectina de almidón de maíz normal. Esto está relacionado con los patrones de difracción de rayos X desplegados para los almidones de mango y plátano: tipo- A y tipo-C, respectivamente. Los almidones de plátano y mango contienen 36.2% y 31.1% de amilosa aparente. Los almidones de plátano y mango tuvieron masas moleculares promedio  $3.37 \times 10^8$  y  $5.01 \times 10^8$  g/mol, y radios de giro de 267 y 297 nm, respectivamente. El almidón de plátano presentó la temperatura (76.5 °C) y entalpía (16.5 J/g) de gelatinización más altas. Las pastas de almidón medidas mediante análisis rápido de viscosidad, tuvieron viscosidades pico de 215.8 y 194.1 RVU, con una temperatura de empastado de 79.3 y 71.3 °C, viscosidad final 323.8 y 239.1 RVU, para los almidones de plátano y mango, respectivamente. Por lo anterior, se encontró, que la estructura fina de la amilopectina está relacionada con las propiedades fisicoquímicas de los almidones de mango y plátano.

Contreras (2009), realizó una investigación denominada “Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento Óhmico” donde el objetivo del estudio fue caracterizar física, química y reológicamente harinas, masas y tortilla de maíz, procesadas por calentamiento óhmico, comparadas con una harina control de maíz nixtamalizado de forma tradicional. Se realizaron nueve tratamientos de calentamiento óhmico para obtención de las harinas, empleando condiciones que involucraron humedades de 45%, 53% y 60%, temperaturas de 70 °C, 80 °C y 90 °C, y tamaños de partícula de 0.5, 0.8 y 1.3 mm. Se evaluaron parámetros de calidad físicos y químicos en harinas, reológicos en las masas, texturales y de vida de anaquel en las tortillas. A partir de este estudio se encontró que los tratamientos semejantes al control fueron: los de partícula 0.8 mm, humedad de 53% y temperaturas de proceso de 70 °C y 80 °C, y el tratamiento con partícula de 1.3 mm, humedad de 45% y temperatura de 80 °C. Las similitudes encontradas fueron en la harina: la

retrogradación y luminosidad; en la masa: las fuerzas de adhesión y cohesión, su humedad y rendimiento; y, en las tortillas se encontraron similitudes en el color, la roabilidad, fuerzas de tensión y corte. Estos tratamientos y el control tuvieron los menores rendimientos en masa y tortilla, así como baja humedad en la tortilla. El resto de los tratamientos evaluados presentó mejores rendimientos de masa y tortilla, menor retrogradación, menores fuerzas de tensión y corte, dando lugar a tortillas más suaves en comparación con el control. En los parámetros químicos se encontró que el proceso óhmico conserva de manera eficiente el contenido de proteínas presente en el maíz de origen.

López (2010), realizó una investigación denominada: Estudio comparativo de la funcionalidad de diversos derivados de celulosas como agentes estructurales en alimentos libres de gluten donde el objetivo del estudio fue realizar un análisis comparativo de la funcionalidad de distintas hidroxipropilmetilcelulosas comerciales sobre los biopolímeros mayoritarios presentes en los productos derivados de cereales, gluten y almidón. Llegándose a las conclusiones siguientes: a) Los resultados del análisis viscométrico de los HPMCs comerciales revelaron un comportamiento diverso a pesar de su misma estructura química. Asimismo, el comportamiento viscométricas de los HPMCs fue distinto cuando se analizaron individualmente y cuando se mezclaron con almidón de trigo. Mientras que por separado el HPMC que menor viscosidad presentó durante el ciclo calentamiento-enfriamiento fue el HPMC 2, cuando se mezclaron los hidrocoloides con almidón este HPMC 2 fue el que afectó en mayor medida las propiedades viscométricas del almidón, incrementando significativamente la viscosidad en caliente del mismo. En cuanto a las propiedades de hidratación, la adición de los cuatro HPMC incrementó los valores con respecto a las muestras control de almidón o gluten, derivado de la capacidad de ligar agua de estos hidrocoloides. La adición de HPMC aumentó el índice de gluten en los cuatro casos a partir de una concentración umbral en la cual la gelificación del hidrocoloide proporciona fuerza a la red proteica.

Acosta (2013), realizó una investigación denominada “Estudio de viscosidad aparente en sistemas simples y multi-fásicos de baja densidad en función de la temperatura, mediante el uso de un visco-analizador” donde el objetivo del estudio fue; Implementar un método que permita evaluar la temperatura de gelatinización, a través de un sistema de medición de viscosidad aparente. Llegándose a la siguiente conclusión: Se determinó mediante correlación entre calorimetría diferencial de barrido y un perfil de viscosidad aparente, que el inicio región II-b del RVA, es el punto donde está el pico de la temperatura de gelatinización,

proporcionando una herramienta útil para determinar la temperatura de gelatinización a partir de un perfil de viscosidad aparente.

Pumacahua (2014), realizó una investigación denominada: “Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e *Mirabilis jalapa*”; donde el principal objetivo de este estudio fue extraer y caracterizar los almidones de granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y maravilla (*Mirabilis jalapa*). Donde fueron determinadas las isotermas de adsorción de cereales y almidón de quinua a diferentes temperaturas y humedades relativas y ajustadas a los modelos matemáticos de GAB, Peleg, Caurie, Ferro-Foltan, Smith y Halsey. Fueron también determinados las energías de activación y los calores isotéricos de adsorción. Se estudió el fenómeno de transferencia de masa en la hidratación del grano de quinua en diferentes tiempos y temperaturas por el modelo de la segunda ley de Fick, determinando las difusividades efectivas. La dependencia de la difusividad efectiva con respecto a la temperatura es descrita por el tipo de relación de Arrhenius. La extracción de los almidones de quinua y cañihua se realizó mediante la molienda húmeda y el almidón de los granos de maravilla por separación mecánica. Los almidones se caracterizaron en base a la composición de amilosa, tamaño y forma de los granos, la rugosidad de cristalinidad, resistencia a la temperatura, entalpía de gelatinización, las propiedades de pasta y otros. Se utilizaron técnicas instrumentales tales como la microscopía electrónica de barrido, microscopía de fuerza atómica, difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja, espectrofotometría, termogravimetría, calorimetría diferencial de barrido, viscosimetría (RVA), analizador de tamaño de partícula en la caracterización de los almidones. Los resultados confirmaron estudios similares y fueron obtenidas otras informaciones no publicadas que se puede utilizar para hacer un mejor uso de granos y almidones.

Pumacahua (2014b), realizó una investigación denominada: “Propiedades morfológicas, térmicas e químicas de amidos de quatro variedades de quinoa”, donde se estudiaron las características de los almidones de quinua de tres variedades blancas y una roja cultivada a 3800 m. de altitud en el altiplano peruano. Los almidones fueron extraídos mediante metodología denominada Molienda húmeda de quinua que permitió separar el almidón, germen y fibra. Los granos fueron hidratados en una solución contenida de 0.2% de SO<sub>2</sub> y 0.55% de ácido láctico durante 4 horas a 50 °C de temperatura y en circulación constante. Se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS, ultra picnómetro de gas helio. Analizador de partículas (ZETA SIZER), microscopio (MEV, NC-AFM), termogravimetría/termogravimetría

derivada (TG/DTG), calorimetría diferencial de barrido (DSC), analizador rápido de viscosidad (RVA), difractómetro de Rayos – X (XRD) y espectroscopio de infrarrojo (FTIR) en la caracterización. Los almidones de las variedades blancas tuvieron contenido de amilosa alrededor de 10 % y de la variedad roja de 7%. También cuentan con forma poligonal con diámetros cercanos a la media de 1  $\mu\text{m}$  y el almidón de la variedad roja con diámetros más pequeños que las blancas. Las propiedades superficiales de los almidones tienen valores de rugosidad bajos. Todos los almidones han demostrado ser de tipo A y con un alto grado de cristalinidad relativa, consistente al alto contenido de amilopectina. La temperatura y entalpía de gelatinización de las variedades blancas eran diferentes a la variedad roja. Incluso el comportamiento diferente se observó en el comportamiento de la pulpa.

## **2.2. Quinoa**

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es un grano andino que se cultiva en forma tradicional en el área andina desde la época incaica. La quinoa es uno de los alimentos más nutritivos que existen en el mundo; es considerada por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) como el alimento apto para sustentar a sus astronautas en condiciones de aislamiento. Esto se debe a sus altos contenidos de proteínas (13.81% a 21.9%, dependiendo de la variedad) y a ser el único alimento, en el reino vegetal, que provee todos los aminoácidos esenciales, según el estándar para la nutrición humana de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En 1996 la quinoa fue catalogada por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad, no sólo por sus grandes propiedades benéficas y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana. La quinoa está considerada como el alimento más completo para la nutrición humana basada en proteínas de la mejor calidad en el reino vegetal por el balance ideal de sus aminoácidos esenciales, ácidos grasos como omega 3, 6 y 9, en forma equilibrada, vitaminas, y minerales como el calcio y el hierro. En Perú, el año 2012 se registró una producción nacional de 43.600 toneladas, cosechadas en 38.500 hectáreas (70% en Puno). Son alrededor de 70 mil pequeños y medianos productores de las regiones de Puno, Ayacucho, Cusco, Junín, Apurímac, Arequipa y Huancavelica que se dedican a la siembra del grano y que tiene un rendimiento promedio de 1.1 toneladas por hectárea. Por la importancia nutricional atribuida a la quinoa es demandada últimamente por Alemania, Dinamarca, Francia, Japón, Gran Bretaña y USA. (Moreno & Sánchez, 2013)

## 2.2.1. Morfología y Estructura de los granos

### 2.2.1.1. Fruto del grano de quinua

Es un aquenio, que se deriva de un ovario supero unilocular y de simetría dorsiventral, tiene forma cilíndrico- lenticular, levemente ensanchado hacia el centro, en la zona ventral del aquenio se observa una cicatriz que es la inserción del fruto en el receptáculo floral, está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo y contiene una sola semilla, de coloración variable, con un diámetro de 1.5 a 4 mm, la cual se desprende con facilidad a la madurez y en algunos casos puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la selección, el contenido de humedad del fruto a la cosecha es de 14.5%. (Mujica, Izquierdo & Marathe, 2006). El perigonio tiene un aspecto membranáceo, opaco de color ebúrneo, con estructura alveolar, con un estrato de células de forma poligonal-globosa y de paredes finas y lisas (Figura 1). El fruto es seco e indehiscente en la mayoría de los genotipos cultivados, dejando caer las semillas a la madurez en los silvestres y en algunas accesiones del banco de germoplasma (Mujica *et al.*, 2001).

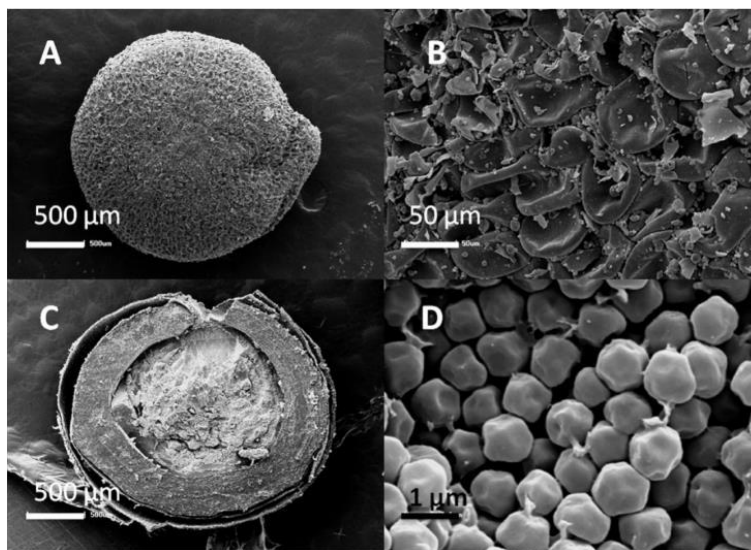


Figura 1. Vista del grano, pericarpio, endospermo y gránulos de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) al microscopio electrónico de barrido  
Fuente: Pumacahua, Limaylla, Telis & Lopes, 2016.

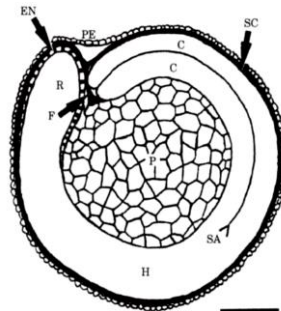
### 2.2.1.2. Semilla

Constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: Episperma, embrión y perisperma. La

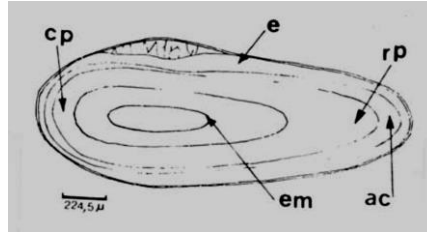
episperma, está constituida por cuatro capas: una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos, tiene células de forma alargada con paredes rectas; la segunda capa es muy delgada y lisa, se observa sólo cuando la capa externa es translúcida; la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta capa, translúcida, está constituida por un solo estrato de células (Mujica *et al.*, 2001).

El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye el 30% del volumen total de la semilla el cual envuelve a la episperma como un anillo, con una curvatura de 320 grados, es de color amarillento mide 3.54 mm de longitud y 0.36 mm de ancho. (Carrillo, 1992), en algunos casos alcanza una longitud de 8.2 mm de longitud y ocupa el 34% de toda la semilla y con cierta frecuencia se hallan tres cotiledones (Mujica *et al.*, 2001), en forma excepcional a otras semillas, en ella se encuentra la mayor cantidad de proteína que alcanza del 35-40%, mientras que en el perisperma solo del 6.3 al 8.3% de la proteína total del grano (Ayala, 1977); la radícula manifiesta una pigmentación de color castaño oscuro.

El perisperma es el principal tejido de almacenamiento y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la superficie de la semilla, sus células son grandes de mayor tamaño que las del endospermo, de forma poligonal con paredes delgadas, rectas y con grandes agregados de almidón, estos agregados están compuestos por miles de gránulos de almidón individuales, de forma hexagonal en la mayoría de los casos (Mujica *et al.*, 2001).

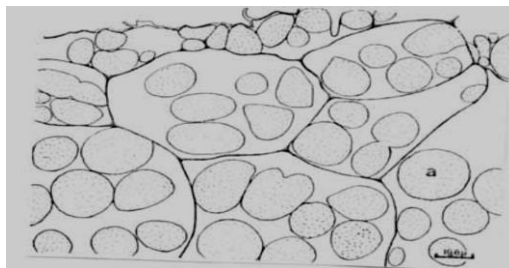


*Figura 2.* Sección longitudinal media del grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Dónde: PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla, EN: Endosperma; C: Cotiledones, H: Hipocotilo; SA: Ápice del meristemo; R: Radícula, P: Perisperma; F: Funículo.  
Fuente: Mujica *et al.*, 2001.

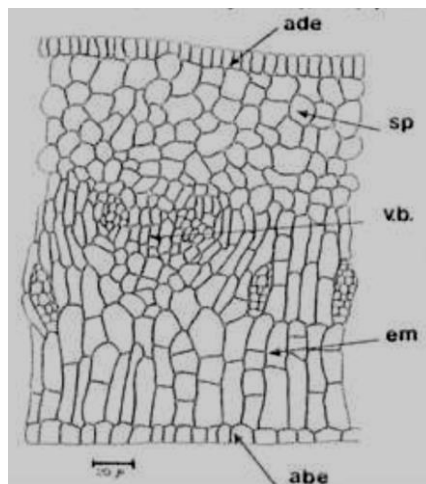


*Figura 3.* Corte transversal de la semilla de quinua. Dónde: e: endospermo; ac: cámara de aire; cp: polo cotiledonal; rp: polo radicular y em: embrión  
Fuente: Mujica *et al.*, 2001.

Mujica *et al.*, (2001), indican que la quinua también posee endosperma el cual es de tipo celular, formado por varias capas rodeando completamente al embrión y separado de él por una capa de aire y que probablemente, después que la semilla se hidrata, las células del endosperma se ponen en contacto con el embrión que lo consume rápidamente durante su crecimiento.



*Figura 4.* Células del perisperma con los gránulos de almidón en quinua. Dónde: a: almidón.  
Fuente: Mujica *et al.*, 2001.



*Figura 5.* Tejidos del cotiledón en el embrión de la quinua. Dónde: ade: epidermis superior; sp: tejido esponjoso; vb: haz vascular; em: tejido de empalizada; abe: epidermis inferior.  
Fuente: Mujica *et al.*, 2001.

### 2.2.2. Quinua perlada

Según Mujica *et al.*, (2006), define quinua perlada al “grano de quinua seleccionado y desaponificado por medios fisicoquímicos y mecánicos, siendo esta apta para el consumo humano y aceptado por la población, es decir libre de impurezas y sustancias antinutricionales, como es la saponina. Para obtener la quinua perlada los granos de quinua deben de pasar por un proceso de desaponificado, denominado también escarificado, el cual puede efectuarse de diferentes maneras existiendo escarificado mecánico o vía seca y escarificado combinado”.

Así también Mujica *et al.*, (2006), sostiene que en el escarificado o desaponificado por vía seca, se utiliza maquinas pulidoras de cereales, la cual elimina en forma superficial la saponina presente en el grano de quinua, éste método es más económico y practico, porque no requiere mayor tratamiento previo, sin embargo, su desventaja es que no se logra eliminar completamente toda la saponina del grano; si se pule más al grano, esta operación puede desprender el embrión y hacer que se pierda la proteína que está concentrada en el embrión y la grasa de la capa superior del grano, los cuales se podrían eliminar juntamente que el polvillo que contiene la saponina. El primer equipo he diseñado por Torres y Minaya, citados en Mujica *et al.*, (2006), quienes lograron eliminar las saponinas del grano de quinua en forma satisfactoria. En este caso el producto procesado (quinua perlada) que se ha obtenido como resultado de la escarificación tuvo una eficiencia del 95%, con un contenido final entre 0.04 y 0.25% de saponina, dependiendo de la variedad utilizada, Mujica *et al.*, (2006) menciona que Franco y Tapia, desarrollaron otro método de escarificado de quinua, combinando calor o pretostado del grano con cepillado, el cual dio buenos resultados, puesto que es el método tradicional que utilizan los campesinos del altiplano peruano-boliviano.

Además existe el método Escarificado combinado, el mismo que Mujica *et al.*, (2006) consideran que es el método más recomendable para eliminar las saponinas del grano de quinua, para ello, primero se escarifica ligeramente la quinua, eliminando el mayor porcentaje de saponina, por un periodo adecuado (1 kg en 12 segundos), luego se lava brevemente durante 8 minutos para eliminar el remanente de saponina y se escurre durante 10 minutos, seguidamente, con un ligero enjuague al grano, sin exponer excesivamente a la humedad se procede al secado, siendo este método mucho más rápido y barato, con el que se logra un producto con bajos niveles de saponina (0.06-0.12%), siendo este grano apto para el consumo humano y denominado comercialmente quinua perlada.

### 2.2.2.1. Descripción de proceso para la obtención de quinua perlada

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de quinua perlada en el método tradicional; el cual es el grano entero, obtenido del escarificado o desaponificado del grano de quinua; obtenido del diseño de una planta de desaponificado y secado de quinua (Zaga, 2008).

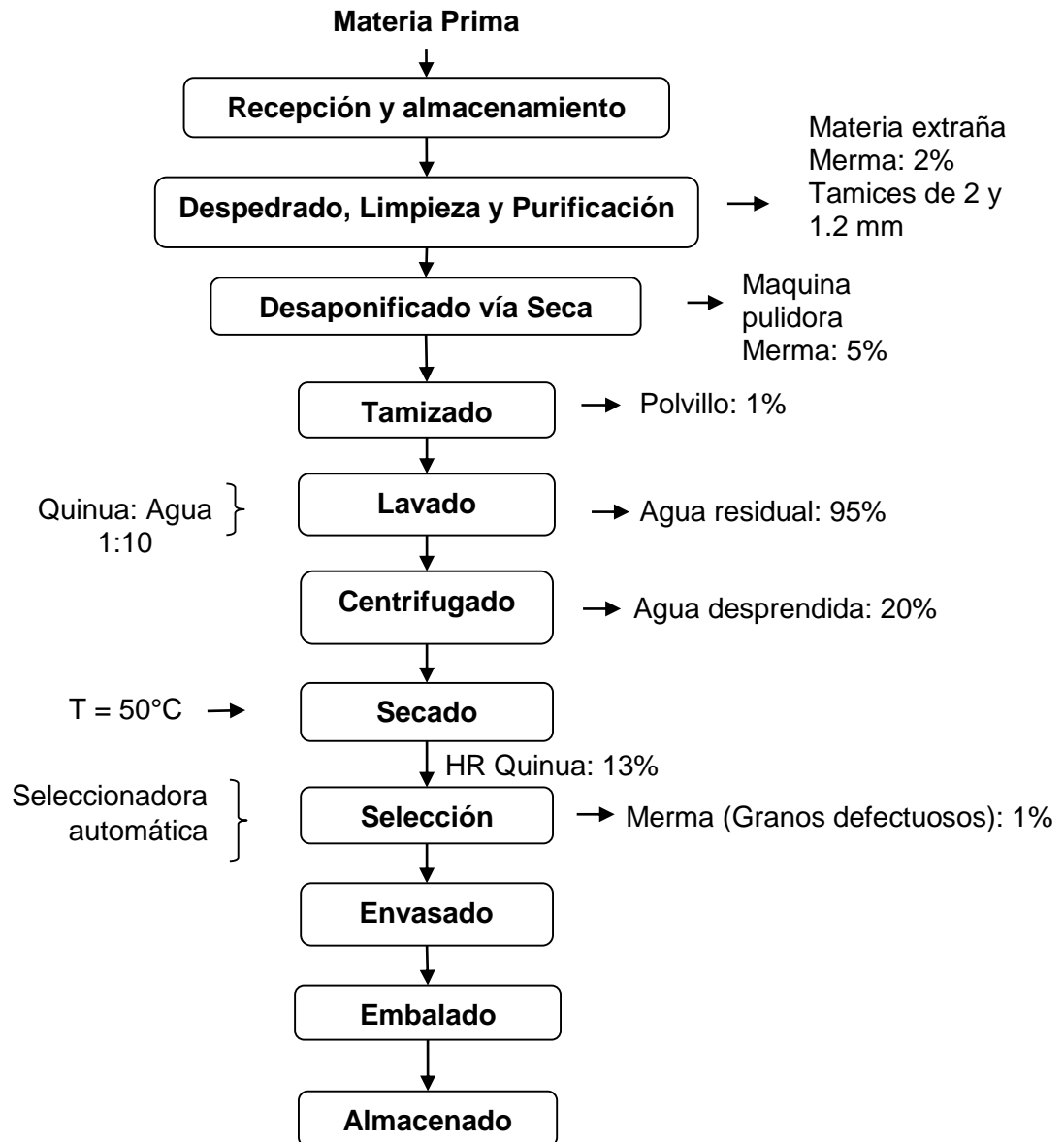


Figura 6. Diagrama de flujo para la obtención de quinua perlada. Fuente: Adaptado de Zaga, 2008.

### **2.2.2.2. Descripción del proceso productivo**

#### **a) Recepción y almacenamiento de materia prima**

Para facilitar el manipuleo, transporte y almacenamiento de la quinua se utilizan generalmente sacos de polipropileno de 50 Kg de capacidad. Previo control del peso con una balanza y verificación de la materia prima recepcionada se procederá al almacenaje, hacer rumas encima de parihuelas, evitando contactos con el piso a fin de que la circulación del aire sea completa. Debe controlarse el grado de humedad del grano durante la recepción, pues poseen un alto poder germinativo. Las áreas de almacenamiento deberán tener instalaciones apropiadas, que permitan una buena ventilación, como de seguridad para impedir la entrada de roedores y evitar que la humedad se incremente especialmente en épocas de lluvia (Zaga, 2008).

#### **b) Despedregado, limpieza y purificación**

Tiene la finalidad de separar materiales extraños que comúnmente se encuentran en los granos de quinua, como son pajas, tierra, piedras, residuos vegetales, residuos de materiales ferrosos y otros materiales groseros. Se utilizan zarandas o mallas metálicas de 2 y 1.2 mm de diámetro de orificios, las cuales serán accionadas mecánicamente con una despedradora (mesa densitométrica). En esta operación se puede considerar no más de 2% de pérdida de peso (Zaga, 2008).

#### **c) Desaponificación vía seca**

El desaponificado por vía seca consiste en la separación del pericarpio (descascarado) y segmentos secundarios del grano de quinua, donde se concentra el mayor contenido de saponinas, alcaloide - glucósido que le confiere el sabor amargo y astringente impropio para poder ser aprovechado en la alimentación. Esta fase se realiza a través de medios mecánicos abrasivos (máquinas peladoras y pulidoras en seco). La acción combinada de un tornillo sinfín y un cilindro estacionario, permite un constante raspado de los granos de quinua contra las paredes del cilindro, el polvillo desprendido de los granos pasa a través de la malla y es separado mediante el uso de succionadores de aire (Zaga, 2008).

#### **d) Tamizado**

El proceso de escarificado ocasiona el rompimiento de un porcentaje de granos que deben ser separados, para lo cual se emplean tamices vibratorios de 1.2 mm de diámetro, retirando los granos quebrados y el remanente del polvillo del grano escarificado; el polvillo es separado por acción de un ventilador y la fracción de granos partidos por gravedad (Zaga, 2008)..

#### **e) Lavado**

Tiene por finalidad terminar de eliminar los residuos de saponina que pudieron haber quedado en el grano de quinua, se realiza con agua potable, utilizando tinajas o lavadores de 10 Kg de capacidad en forma manual. Mediante el lavado, se obtienen quinuas perladas enteras y brillantes, con muy bajo contenido de saponina menores a 0.11% (quinua dulce) (Zaga, 2008).

#### **f) Centrifugado**

Esta operación es similar a un escurrido y oreado que tiene por finalidad retirar una cantidad representativa de agua para que así facilite el secado, se realiza con una centrifuga de acero inoxidable, girando en 1000 revoluciones por minuto (Zaga, 2008).

#### **g) Secado**

A consecuencia del lavado, los granos de quinua absorben una cantidad de agua y el tras el centrifugado aún queda humedad que debe eliminarse hasta un 13 % en base seca ya que si contiene mucha humedad se pueden originar fermentaciones que desmejoran la calidad del producto. Se utiliza un secador estático o discontinuo (secador de bandejas) que consiste en someter a los granos a la acción de una corriente de aire, previamente calentado este secado es artificial, necesario cuando se trabaja en condiciones atmosféricas desfavorables (zonas lluviosas o con alta humedad relativa), o cuando el proceso productivo exige el manejo de grandes cantidades de grano en un tiempo relativamente corto (Zaga, 2008).

#### **h) Selección**

Se realiza con la finalidad de separar los granos dañados de los buenos tras las demás operaciones, utilizando una seleccionadora automática de granos (Zaga, 2008)..

### **i) Envasado**

Para su comercialización, la quinua perlada será envasada en bolsas de polietileno de baja densidad, celofán o polipropileno de 1/2 Kg y/o 1 Kg de peso en contenido; envasándose mecánicamente y cerrándose con selladoras de resistencia eléctrica, si los granos de quinua perlada serán utilizados en la elaboración de otros productos, se empacan en bolsas de polipropileno de 50 Kg, o a granel en silos para su almacenamiento temporal (Zaga, 2008)..

### **j) Embalado**

Un empaque y embalaje adecuados contribuyen a la disminución de pérdidas debidas a factores físicos, químicos, biológicos y humanos. Las principales funciones del embalaje son las siguientes:

- Facilita la manipulación (manual o mecánica)
- Reduce las pérdidas por hurto o robo.
- Protege al producto contra ataques de agentes exteriores.

### **k) Almacenado**

Los granos se deben conservar en las condiciones apropiadas para garantizar su calidad sanitaria y organoléptica. La degradación de los granos en almacenamiento se ve afectada por la combinación de tres factores ambientales:

- Temperatura
- Humedad

Los granos almacenados también son afectados por microorganismos, insectos, aves y roedores. El almacenamiento de los granos debe hacerse en ambientes secos, frescos y bien aireados y teniendo como base parihuelas de madera. Los factores que determinan la calidad de grano o semilla durante el almacenamiento son los siguientes:

- Contenido de humedad del Grano: El grano es higroscópico, es decir que puede ganar o perder humedad del medio ambiente. Un alto contenido de agua, mayor de 14% no es deseable ni recomendable para almacenar grano de quinua.
- Humedad y temperatura ambiente: Son los factores que más afectan la calidad fisiológica de los granos durante el almacenamiento (Zaga, 2008).

## **2.3. Saponina**

La saponina y otros compuestos (sustancias precursoras de saponinas, ácidos grasos oxidados, sales minerales de magnesio, oxalatos, etc.) presentes en las coberturas externas (episperma) del grano de quinua, son los responsables del sabor amargo e indeseable del grano, por cuya razón, limitan el consumo de quinua en la alimentación humana y obstaculizan el desarrollo agroindustrial (Gunsha, 2013).

### **2.3.1. Desaponificado de la quinua**

Siendo la saponina responsable del sabor amargo presente en las coberturas externas del grano, es lógico que se hayan destinado todos los esfuerzos para eliminar esta cobertura, como consecuencia de ello surge el agua de lavado de la quinua. En términos generales se puede afirmar que los granos de quinua, tal como salen de la trilladora, no deben ser utilizados directamente, de allí que estos granos tienen que pasar por un proceso de limpieza y desamargado, es decir de eliminación de compuestos amargos entre los que destacan las saponinas que tienen alta solubilidad en agua, soluciones de NaCl, NaOH o etanol (Gunsha, 2013).

#### **2.3.1.1. Procesos tradicionales de desamargado**

Los campesinos y las amas de casa utilizan tradicionalmente los procesos húmedos. Consisten en sucesivos lavados del grano en agua, haciendo fricción con las manos o una piedra para facilitar la eliminación de las primeras capas. Ello es demasiado laborioso cuando se trata de grandes cantidades de quinua, por lo que no constituye una alternativa práctica. (Tapia *et al.*, 1979).

#### **2.3.1.2. Procesos secos a temperatura ambiente**

Desde antes de 1950 se tienen noticias del esfuerzo realizado por pequeños molineros de Cusco para desamargar el grano de quinua mediante la utilización de equipos de molienda de trigo. En el Perú, con el apoyo de instituciones se diseñó en este país una máquina escarificadora de quinua. Dicho sistema utiliza medios mecánicos abrasivos y la acción combinada de paletas giratorias que golpean el grano contra tamices estacionarios y que permiten un raspado eficiente de los granos de quinua (Torres y Minaya, citados en Gunsha, 2013).

### **2.3.1.3. Procesos con uso de calor seco**

Las primeras empresas que intentaron producir harina de quinua desamargada también usaron métodos de tostado con el fin de eliminar las cáscaras que contenían las saponinas. Una vez tostada la quinua, era pasada por un cernidor que separaba las cáscaras tostadas y molida en un molino de piedra. Se experimentó la desaponificación tostando y posteriormente recurriendo al uso de la fricción simple, la fricción con CINa o los dos tipos de fricción combinados (Tapia *et al.*, 1979).

### **2.3.1.4. Procesos húmedos**

En el año 1973, Junge en Chile realizó investigaciones que le llevaron a utilizar una celda de flotación que facilitaba la extracción de saponina. En primer lugar, la semilla es sometida a maceración en agua para ablandar la capa que contiene la saponina. La capa exterior o pericarpio es separada del endospermo por la acción de frotamiento de las aletas de la turbina que impulsan los granos contra las aletas fijas. El solvente tiende a penetrar al interior del grano, favoreciendo el aumento de la humedad de la quinua mientras que las saponinas toman un camino contrario (Gunsha, 2013).

Una combinación de los procesos de escarificación y húmedo dan mejores resultados que los métodos seco o húmedo utilizados separadamente, tanto para la eliminación de saponinas, como por demandar menor cantidad de agua. Con un proceso combinado se pueden lograr tiempos de contacto breves (2 minutos) con bajas relaciones solvente/alimentación (2:1 o aun algo menores). El proceso combinado ha sido perfeccionado exitosamente en Ecuador por Arias y Nieto (Gunsha, 2013).

### **2.3.2. Métodos de determinación de saponina**

Un aspecto que tiene mucha importancia para acelerar el desarrollo de la quinua es contar con un método oficial de análisis de saponina que permita obtener resultados comparables. Gunsha (2013), menciona que existen los siguientes métodos:

- Producción de espuma en agua.
- Métodos gravimétricos mediante extracción y cristalización.
- Cromatografía sobre gel de sílica.
- Hemólisis, usando glóbulos rojos humanos o de animales (conejos).

### **2.3.2.1. Método de la espuma**

Según Montes (2014), en los laboratorios de Latinreco S.A., ubicados en Ecuador, se ha desarrollado y estandarizado un método físico para determinar las saponinas de la quinua, basado en su propiedad tensoactiva. Cuando se disuelven en agua y se agitan, las saponinas dan una espuma estable, cuya altura está correlacionada con el contenido de saponinas en los granos. Las investigaciones han consistido en la elaboración de un estándar y la estimación del contenido mediante un método normal y otro rápido. Estos procedimientos parecen aptos para ser usados en controles de calidad de la quinua, por lo que se detallan a continuación y los materiales necesarios son:

- Tubos de ensayo con tapones de rosca, 160 mm de longitud y 16 mm de diámetro
- Probeta de 10 ml
- Cronómetro o reloj
- Balanza sensible al 0.01 g
- Regla sensible al 0.1 cm
- Agua destilada
- Porta tubos

### **2.3.2.2. Método normal**

- Pesar  $0.50 \pm 0.02$  g de granos enteros de quinua y colocarlos en un tubo de ensayo.
- Añadir 5.0 ml de agua destilada y tapar el tubo. Poner en marcha el cronómetro (o leer el reloj) y sacudir vigorosamente el tubo durante 30 segundos.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos, luego sacudir otra vez durante 20 segundos.
- Dejar en reposo durante 30 minutos más, luego sacudir otra vez durante 30 segundos. Dar al tubo una última sacudida fuerte, igual a las sacudidas que se usan con termómetros orales.
- Dejar el tubo en reposo 5 minutos, luego medir la altura de la espuma al 0.1 cm más cercano.

Para la determinación del porcentaje de saponina, se debe aplicar los siguientes Cálculos descritos en la ecuación 1 y 2:

$$\text{mg saponinas/g peso fresco} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de muestra en g})} \quad (1)$$

$$\% \text{ saponinas} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de muestra en g}) \times (10)} \quad (2)$$

Por ejemplo, si una muestra de quinua de 0.51 g dio una altura de espuma de 1.5 cm, los cálculos son:

$$\text{mg saponinas/g peso fresco} = \frac{(0.646 \times 1.5) - 0.104}{0.51} = 1.70$$

$$\% \text{ saponinas} = \frac{0.646 \times (1.5) - 0.104}{(0.51) \times (10)} = 0.17$$

Por lo tanto, la muestra de quinua contiene 1.70 mg de saponinas por grano de peso fresco, o 0.17% de saponinas por peso. El tiempo estimado de duración del análisis por cada muestra es de 73 minutos.

### 2.3.2.3. Método rápido

Para hacer determinaciones más rápidas puede tomarse la lectura de la altura de espuma después de una agitación de 30 segundos, esperando unos 10 segundos más para que se establezca la espuma. La ecuación de correlación entre lecturas de alturas de espuma tomadas después de 30 segundos de agitación y las tomadas normalmente al fin de 73 minutos es:

$$(\text{altura final}) = 0.683 \times (\text{altura de espuma después de 30 s}) + 0.163 \quad (3)$$

La sustitución de la ecuación (3) en las ecuaciones (1) y (2) da:

$$\text{mg saponinas/g peso fresco} = \frac{0.441 \times (\text{altura de espuma después 30 seg en cm}) + 0.001}{(\text{peso de muestra en g})} \quad (4)$$

$$\% \text{ saponinas} = \frac{0.441 \times (\text{altura de espuma después 30 seg en cm}) + 0.001}{(\text{peso de muestra en g}) \times (10)} \quad (5)$$

Con este método rápido se relaciona una quinua dulce con una altura de espuma de 1.2 cm o menos. Como el 99% de la variación de humedad encontrada en los granos de quinua se incluye dentro de los límites de tolerancia de  $\pm 0.02$  g en el peso de las muestras analizadas,

pueden hacerse directamente análisis rápidos del contenido de saponinas en granos de quinua sin medir los porcentajes de humedad. En la Tabla 1 se muestra los resultados del análisis en ocho muestras de quinua por el método de espuma desarrollado por Latinreco S.A. Se hicieron también evaluaciones organolépticas para averiguar el sabor de los granos. Aunque pueden distinguirse diferencias en el contenido de saponinas entre las variedades de quinua amarga en base a la altura de la espuma, no pueden calcularse los valores a una altura de espuma mayor de 3.0 cm (Montes, 2014).

**Tabla 1**

*Determinación del contenido de saponinas en granos de quinua por el método de espuma*

Muestra	Altura de espuma cm		Saponinas	% saponinas
	x	DE	mg/g peso fresco	por peso
Quinua dulce	0.1(a)	0.1	BLD (b)	BLD
Sajama 1	0.4	0	0.31	0.03
Sajama 2	0.6	0.1	0.57	0.06
Sajama 3	0.2	0.1	0.05	0.005
Perulac entera	1.4	0.4	1.60	0.16
Porotoc	5.6 (c)	0.6	SLD	SLD
LR-013	5.8	0.4	SLD	SLD
San Juan INIAP	7.9	0.2	SLD	SLD

Fuente: Montes, 2014.

Los valores son los promedios de 4 ensayos con excepción de (a) n=6 y (c) n=21, x=promedio, DE=desviación estándar (b) Por debajo de los límites de detección de este método. Según las ecuaciones dadas, no se puede estimar contenidos de saponinas cuando la altura es menor a 0,2 cm (e) Nivel de espuma supera a los límites de detección de este método porque sale de la correlación lineal entre la altura de espuma y la concentración de saponinas en solución (Latinreco, citado en Montes, 2014). Sin embargo, este método de espuma tiene validez como un método semicuantitativo para distinguir entre la quinua dulce y amarga. Por ejemplo, las muestras de quinua que mostraban una altura de espuma de 0,6 cm o menos se clasificaron por degustación como dulces, mientras que aquellas que mostraban una altura de espuma de 1,4 cm o más se clasificaron como amargas. En un ensayo de degustación con diferentes proporciones de harinas de Sajama (dulce) y harina de quinua amarga, pudo clasificarse como amarga sólo la mezcla de harinas que contenía 0,13% de saponinas. Los sabores de las mezclas de harinas que contenían 0,10 y 0,11% eran casi iguales. Por lo tanto, puede considerarse como dulce la quinua que contiene 0,11% saponinas o menos y como amarga la que contiene saponinas por encima de 0,11%. Este contenido de

saponinas se relaciona a una altura de espuma de 1 cm o menos para la quinua dulce y alturas superiores a 1 cm para la quinua amarga (en el método normal) (Montes, 2014).

Por otro lado, en la tabla 2 muestra el contenido de saponinas en función de la variedad y de su origen. Se observa que su procedencia es principalmente la región de los Andes, pero también se han iniciado ensayos en otras regiones (Dinamarca y China). Dado el contenido de saponinas reportado, la mayoría se clasifican como amargas (saponinas >0,11%).

**Tabla 2**

*Contenido de saponinas en variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) de diferente origen*

<b>Origen</b>	<b>Variedad</b>	<b>Contenido (%)</b>	<b>Genotipo</b>
Argentina	Sajama	0.8 <sup>a</sup>	Amarga
	N. R.	2.9 <sup>b</sup>	Amarga
Bolivia	Real (Cáscara)	33 <sup>c</sup>	Amarga
	Real	2.6 <sup>a</sup>	Amarga
	Real	N. R. <sup>d</sup>	Amarga
	Real (Cáscara)	7.0 <sup>e</sup>	Amarga
	Real	Alto <sup>f</sup>	-
	Camacani	Alto <sup>f</sup>	-
	Chupaca	N. R. <sup>f</sup>	-
	Sajama	- <sup>f</sup>	Dulce
	Kurmi	N. R. <sup>g</sup>	Dulce
Brasil	BRS - Piabiru	3.3 <sup>h</sup>	Amarga
	Amarilla Ancovinto (Línea élite)	Medio <sup>f</sup>	-
	Roja Ancovinto (Línea élite)	Alto <sup>f</sup>	-
	Regalona Baer	Medio <sup>f</sup>	-
	N. R.	10.7 (cáscara) <sup>i</sup>	Amarga
		8.0 (semillas) <sup>i</sup>	
Chile	N. R.	4.0 (flores) <sup>i</sup>	Amarga
		4.0 (frutos) <sup>i</sup>	
		0.002 <sup>j</sup>	
	Villarrica	0.003 <sup>j</sup>	Dulce
	Regalona	1.3-1-7 <sup>k</sup>	Amarga
	Ancovinto	1.5-2.4 <sup>k</sup>	Amarga
	Cancosa	2.7-5.0 <sup>k</sup>	Amarga
	Cáhuil	1.9-3.9 <sup>k</sup>	Amarga
	Faro	1.9-3.9 <sup>k</sup>	Amarga
Regalona	0.8-0.9 <sup>k</sup>	Amarga	
Villarrica			

(Continúa)

**Tabla 2**

Contenido de saponinas en variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) de diferente origen (*continuación*)

Origen	Variedad	Contenido (%)	Genotipo
China	N. R.	1.2 <sup>i</sup>	Amarga
Colombia	Blanca de Nariño	Bajo <sup>f</sup>	N.R.
Dinamarca	Olav	1.8 (semilla) <sup>m</sup>	Amarga
		0.3 (sin cascara) <sup>m</sup>	Amarga
	Q52	1.8 (germen)	Amarga
		6.1 <sup>m</sup>	Amarga
Ecuador	INIAP Tunkahuan	Bajo <sup>g</sup>	-
	INIAP Pata de venado	Bajo <sup>g</sup>	-
Perú	Huallhuas	Bajo <sup>f</sup>	-
	Amarilla de Marangani	Alto <sup>f</sup>	-
	Witulla	Medio/Alto <sup>f</sup>	-
	Tahuaco	Alto <sup>f</sup>	-
	Blanca de Juli	Medio <sup>f</sup>	-
	Blanca y rosada de Junín	Bajo <sup>f</sup>	-
	Cheweka	Bajo <sup>f</sup>	-
	Kancolla	Alto <sup>f</sup>	-
Kancolla	5.6-7.5 <sup>n</sup>	Amarga	
Rosada de Junín (Perú) x Real Púrpura (Bolivia)	Huancayo	Bajo <sup>f</sup>	-
Rosada de Junín (Perú) x Real Púrpura (Bolivia)	Mantaro	Alto <sup>f</sup>	-

Fuente: <sup>a</sup>Pappier *et al.*, (2008). <sup>b</sup>Gianna *et al.*, (2012). <sup>c</sup>Joshi *et al.*, (2008). <sup>d</sup>Valencia (2003). <sup>e</sup>San Martín *et al.*, (2008). <sup>f</sup>Fuentes (2008). <sup>g</sup>Zurita *et al.*, (2014). <sup>h</sup>Nickel *et al.*, (2016). <sup>i</sup>Kuljanabhagavad *et al.*, (2008). <sup>j</sup>Miranda *et al.*, (2013). <sup>k</sup>Miranda *et al.*, (2012). <sup>l</sup>Yao *et al.*, (2014). <sup>m</sup>Jacobsen *et al.*, <sup>n</sup>Gómez *et al.*, (2011). N. R.: no reportado

## 2.4. Almidón

Almidón (Lat. *amylum*), es un carbohidrato y en plantas superiores constituye la principal fuente de reserva, son responsables de la germinación y crecimiento de semillas, se encuentra en los granos de cereales, semillas de Fabáceas, rizomas, tubérculos y frutos. Los cereales (Poaceae) registran distintas cantidades de almidones. Durante los últimos 3,000 años han cubierto gran parte de las necesidades nutritivas básicas de la alimentación humana. El almidón, es necesaria como fuente energética de la dieta alimentaria y sus propiedades físicas influyen en la textura y adaptabilidad de los alimentos (Mujica *et al.*, 2006).

Los almidones son polisacáridos vegetales, fisiológicamente son sustancias de reserva que se encuentran principalmente en los granos de cereales y en los tubérculos, la función nutricional de los almidones es importante: fuente de calorías de la alimentación humana y debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales los almidones se emplean como: Agentes espesantes, para incrementar la viscosidad de salsas y potajes, como agentes estabilizantes de geles o emulsiones y como elementos ligantes y agentes de relleno. El contenido de almidón en semillas de quinua es variable entre 58 a 68 % y 5 % de azúcares, está relacionada con la variedad y las metodologías de determinación. Durante la molienda del grano de quinua, previa desaponificación, el porcentaje de extracción de harina puede alcanzar valores de 75 a 85 %, es decir, la quinua no posee estructuras morfológicas comunes de cereales como glumas y raquis (Mujica *et al.*, 2016).

Globalmente las características de un producto alimenticio terminado están determinadas por la procedencia del almidón, la temperatura de calentamiento, la concentración de almidón usada en una formulación y los otros componentes usados con el almidón, como el ácido y el azúcar. Hay muchos tipos de almidón y almidones modificados. (Rivas, 2006). Las potencialidades de uso del almidón de quinua en la industria, es muy interesante, así, Bacigalupo y Tapia, citados en Mujica *et al.*, (2016) sostienen que el almidón residual tiene posibilidades especiales en la producción de aerosoles, pastas, producción de papel autocopiante, postres alimenticios, etc.

En el grano de quinua el almidón se localiza en el perisperma y representa aproximadamente el 68 % de carbohidratos (Gandarillas, 1982). Así también Mujica *et al.* (2016) mencionan que la cantidad de almidón en algunas variedades de quinua varía entre 54.1 a 65.2 %, con un promedio de 61.4 %, el germen de la semilla presenta el 25 % del volumen total de la semilla y contiene casi toda la proteína y los lípidos; el embrión de la quinua contiene el 95 % de la proteína del grano total, por lo que, se supone que existe una mínima cantidad de proteínas en el endospermo.

Los granos de almidón, o gránulos, contienen polímeros de glucosa de cadena larga y son insolubles en el agua. A diferencia de las moléculas pequeñas de sal o azúcar, los polímeros más largos de almidón no forman una solución verdadera. Los gránulos de almidón forman una suspensión temporal cuando se agitan en agua. Los gránulos sin cocer pueden hincharse ligeramente a medida que absorben agua. Sin embargo, una vez que el almidón se cuece, el hinchamiento es irreversible. Esta característica de los gránulos de

almidón permite que el almidón se use como espesante. El diámetro de partícula es una de las características que más afectan a las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Se ha reportado que los gránulos pequeños presentan mayor solubilidad y una alta capacidad de adsorción de agua. Los gránulos de almidón pueden presentar diversas formas: elongados, esféricos o aplanados con un surco longitudinal como es el caso del trigo, cebada y centeno; en almidón de papa se han encontrado helicoidales con un hilo excéntrico; mientras que en cereales son poliédricos o polimórficos. El tamaño de los gránulos de almidón va de 0.5 a 100  $\mu\text{m}$ , lo más grande se han reportado para el almidón de papa (15 a 100  $\mu\text{m}$ ) y más pequeños para el amaranto que van de 0.8 a 2.5  $\mu\text{m}$  (Rivas, 2006).

Mujica *et al.*, (2016) menciona que Varriano y De Francisco, indican que en la quinua los gránulos de almidón de las células del perisperma son poligonales y su tamaño varía entre 0.4 a 2.0  $\mu\text{m}$ , agrupándose entre gránulos de 0.5  $\mu\text{m}$  y 1.3  $\mu\text{m}$ ., los gránulos de almidón se encuentran como entidades simples dentro de las células o como componentes estructurales consistentes de agregados esféricos u oblongos y aproximadamente 14000 gránulos de almidón se pueden comprimir en un agregado de 18 a 20  $\mu\text{m}$ . Matrices de proteínas circundan a los gránulos de almidón y se interconectan entre ellos dentro de las células.

El almidón de quinua es soluble e hidrolizado en agua, no forman geles y se torna azul con yodo; sin embargo, estudios posteriores demuestran que la temperatura de gelatinización varía de acuerdo a las variedades de quinua entre los 55 °C y 72 °C. El almidón de quinua presenta diferentes curvas de viscosidad, si la relación viscosidad pasta alcanza 95 °C la cocción del almidón es difícil, además, la pasta de almidón a 95 °C de cocción no tiene estabilidad y continua aumentando la viscosidad. La retrogradación del almidón producido por el enfriamiento de la pasta de 95 °C a 50 °C es mínima (Scarpati y Briceño, 1980)

El almidón se acumula en los plastos celulares denominados amiloplastos, generalmente, en los granos de almidón se observa anillos concéntricos de crecimiento y representa las fluctuaciones de biosíntesis del polímero. Los almidones naturales son gránulos insolubles semi cristalinos, varían de tamaño, forma y resistencia mecánica (Robinson, 1991). Los granos de quinua poseen 60 % de almidón.

## 2.4.1. Composición química del almidón

### 2.4.1.1. Amilosa

La amilosa es un polímero lineal producto de la condensación de D-glucopiranosas, formado por enlaces  $\alpha$  (1-4), soluble en agua a temperatura entre 70-80 °C. La amilosa tiene una masa molar aproximadamente de  $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$  Da, con un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repartidas en un número de cadenas que van de 1 a 20 (MacAllister, 1979). Se ha demostrado que existen algunas ramificaciones las cuales están unidas a la cadena lineal por enlaces  $\alpha$  (1-6) que se encuentran de manera espaciada e infrecuente, lo que permite observar que se comporte como un polímero lineal. En la Figura 7 se aprecia la estructura básica de la amilosa, de la que se dice tiene una conformación lineal, con una orientación espacial en forma de hélice, con seis moléculas por giro, donde las dimensiones dentro de la hélice son ideales para aceptar una molécula de yodo, dándose así la interacción responsable de la coloración azul de los almidones frente a este último, comúnmente se usa la coloración consecuente a dicha interacción para cuantificar el contenido de amilosa. Dentro de la hélice se propicia un entorno hidrofóbico, con la capacidad de formar complejos no solo con yodo sino con alcoholes o ácidos orgánicos. Se ha considerado que las regiones helicoidales son relativamente rígidas y se presentan de 10 a 15 giros por región (Acosta, 2013).

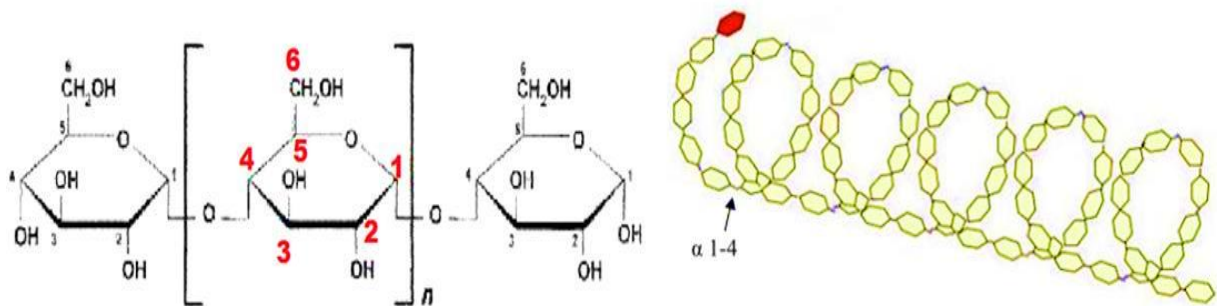


Figura 7. Unidad estructural básica de la amilosa. Fuente: Acosta, 2013.

### 2.4.1.2. Amilopectina

La amilopectina es la molécula de mayor ramificación dentro del almidón, la cual se muestra en la Figura 8, formada por cadenas unidas mediante enlaces  $\alpha$  (1-4) siendo estos el 92-96% de los enlaces totales, mientras que la presencia de enlaces  $\alpha$  (1-6) en los puntos de

ramificación representan el 5-6% de estos, en este polímero de carácter semicristalino, las ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15 o 25 unidades, aunque el rango puede excederse a 19 o 31 unidades dependiendo del contenido de amilosa en el almidón. La relación amilosa/amilopectina difiere entre los almidones de diferente origen botánico la masa molar de la amilopectina varía, su estructura, composición y proporción en el almidón, como en marcadas diferencias en las propiedades fisicoquímicas como la gelatinización y retrogradación, por esta razón, ha sido estudiada ampliamente en términos de su tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas (Acosta, 2013).

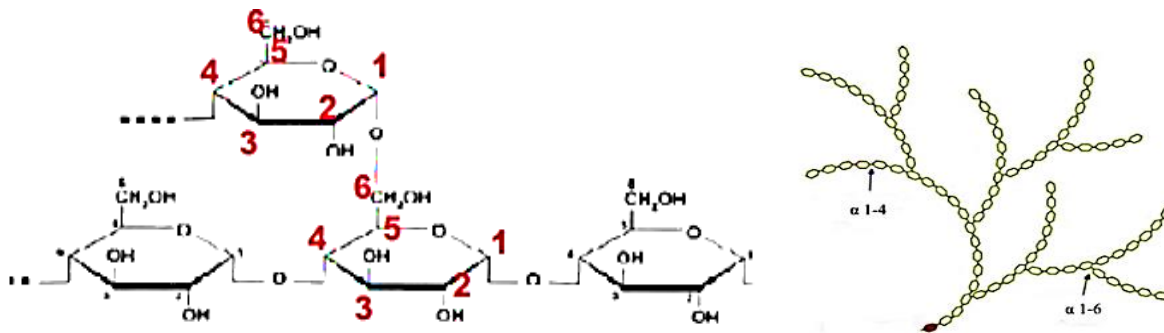


Figura 8. Estructura de amilopectina. Fuente: Acosta, 2013.

El componente más abundante en el almidón es la amilopectina responsable de que el gránulo presente una estructura organizada en forma de anillos, donde dichas moléculas se alinean a lo largo de un eje imaginario que se extiende desde el hilio (punto de origen) del gránulo hasta el exterior del mismo, además de poseer cierta propiedad semicristalina, formando así dos regiones, una cristalina y otra amorfa, que dan al gránulo su característica de birrefringencia. La región cristalina está formada por cadenas de amilopectina estructuradas en racimos, mientras que la región amorfa está formada por puntos ramificados entre la amilopectina y la amilosa. En amilopectinas provenientes de diferentes genotipos de maíz ceroso, encontraron que aquellas que presentaban una mayor proporción de cadenas largas, tenían mayor tendencia a retrogradar que aquellas que mostraron una mayor proporción de cadenas cortas (Acosta, 2013).

#### 2.4.2. Estructura interna y cristalinidad del almidón

La terminología A, B y C se utiliza para diferenciar las cadenas y facilitar la comparación de los modelos de la amilopectina, cuando la longitud de cada tipo de cadena se desconoce. No obstante que la terminología de cadenas A, B y C se utiliza ampliamente, la definición de

cadena A y B es aun inconsistente, ocasionando confusiones en la interpretación de los resultados de los análisis estructurales de la amilopectina. La cadena A se enlaza al resto de la molécula a través de un extremo reductor, la cadena B esta enlazada con una cadena A, pero transporta otras cadenas A y/o B en uno o más de los grupos hidroxilos primarios; la cadena C no está sustituida en el grupo o extremo reductor y solo existe una cadena de este tipo por molécula (Acosta, 2013).

La cristalinidad del almidón se atribuye a las cadenas lineales de amilopectina conformadas en dobles hélices, las cuales forman modelos de estructuras ordenadas que son entidades cristalinas, donde se presentan dos tipos de patrones de difracción de rayos x Figura 9, el tipo A con picos de mayor intensidad de difracción para los ángulos  $2\theta = 15$  y  $23$ , característico de los almidones de cereales. El tipo B tiene picos de mayor intensidad de difracción para ángulos  $2\theta = 5, 6, 15$  y  $24$ , encontrado en almidones de tubérculos y altos en amilosa, actualmente se considera un tipo C, siendo una mezcla de los dos primeros, pero inclinándose al tipo A. El arreglo de estas dobles hélices dentro de la estructura polimórfica tipo A es relativamente compacta con un bajo contenido de agua (4-6 moléculas de agua por hélice), el polimorfismo tipo B tiene su estructura más abierta, por lo tanto, hay mayor contenido de agua haciéndola una hélice hidratada (36 moléculas de agua por hélice) (Spence & Jane, 1999).

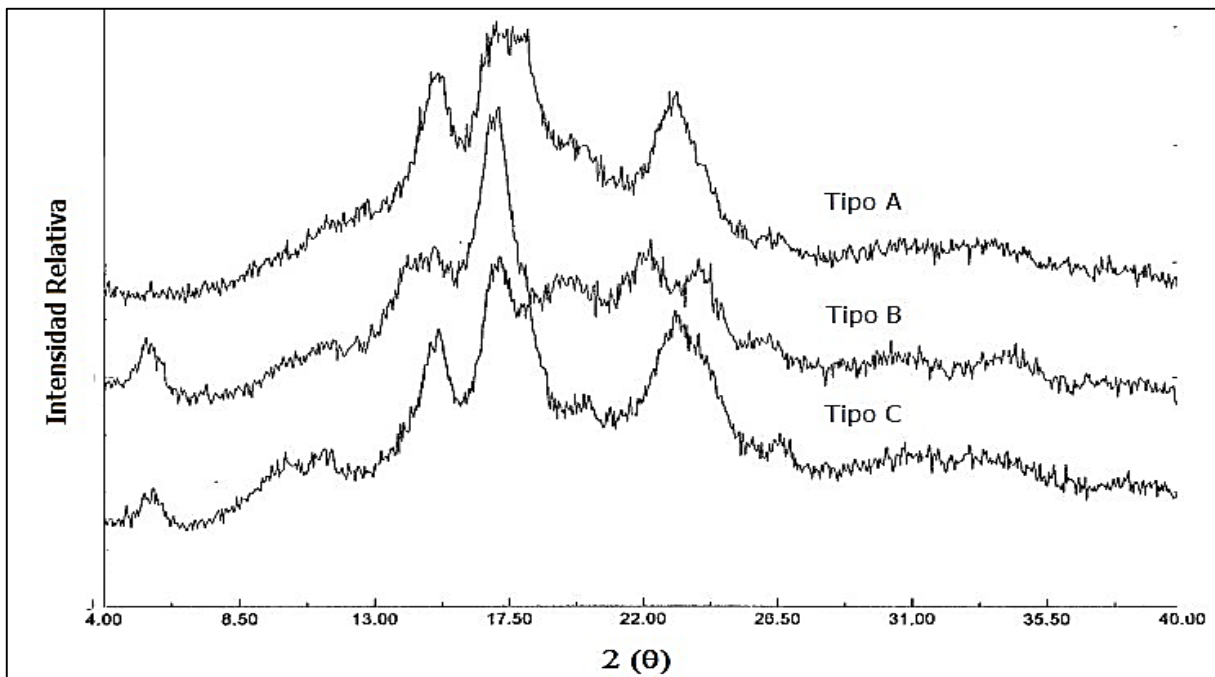


Figura 9. Patrones de difracción de rayos x de almidones A, B y C.  
Fuente: Spence & Jane, 1999

### 2.4.3. Propiedades de pasta de los almidones

El término “pasta de almidón” engloba varios procesos: hinchamiento del granulo, lixiviación de componentes a partir del granulo (principalmente amilosa), y eventualmente la desintegración del granulo. El diámetro de los gránulos de almidón de los cereales puede variar entre 3-20  $\mu\text{m}$ , el almidón de palma tiene un diámetro medio de 50  $\mu\text{m}$ . Todos los gránulos naturales son birrefringentes y observados con luz polarizada muestran una sombra característica en forma de cruz (cruz de malta) en el centro morfológico del grano, así se puede apreciar que hay un alto grado de orientación molecular. Los gránulos de almidón se hinchan progresivamente cuando se calientan en agua a 60-70 °C; se disuelven los polímeros lineales más cortos; a temperaturas más altas, los gránulos se gelatinizan. Con la gelatinización se pierde birrefringencia, se desintegra el gránulo y se forma una pasta, un gel o una solución según el origen y la concentración del almidón. Las propiedades coloidales más importantes del almidón en dispersión o en solución acuosa son la transparencia, el color, la viscosidad, fluencia, resistencia del gel, potencia adhesiva y capacidad de formar película (Acosta, 2013).

El almidón es un absorbente eficaz de los aceites, los ácidos grasos, el agua; este cuidadosamente desecado absorbe hasta 30% de humedad, según la humedad relativa del aire; gran parte de esta agua es firmemente retenida por enlaces de hidrogeno en los hidroxilos de las moléculas de almidón. La propiedad química del almidón que en la actualidad tiene mayor importancia industrial, es la relativa facilidad con que su enlace polimérico es hidrolizado por las enzimas y por los ácidos, como sucede con las maltodextrinas que son elaboradas por hidrolisis acidas o enzimática de los almidones, empleadas como una alternativa efectiva de bajo costo en la selección de materiales para la micro-encapsulación (Acosta, 2013).

En la industria del almidón es de vital importancia determinar sus diferentes propiedades, estas van a determinar su uso. Con este propósito se han diseñado diferentes equipos y metodologías entre ellas destaca el RVA. En ellos se simulan los diferentes procesos que pueden llegar a tener el almidón, durante su uso en la industria, inclusive durante su ciclo de vida. Los almidones pueden llegar a tener diferentes formas y tamaños, la Figura 10 muestra almidones de diferentes fuentes, en los cuales se puede apreciar, que el tamaño y forma de granulo puede variar drásticamente otorgando al almidón diferentes propiedades y comportamientos por ejemplo en el perfil de viscosidad del RVA (Acosta, 2006).

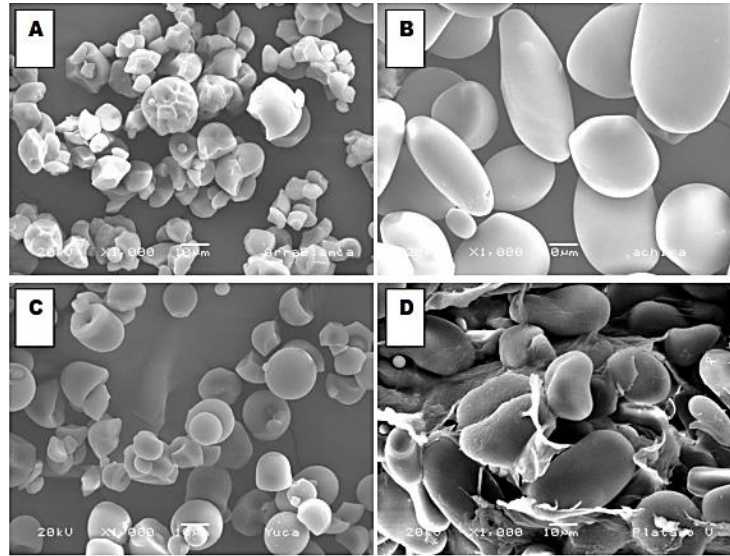


Figura 10. Almidón de diversas fuentes. Dónde: a: arracacha blanca; b: achira; c: yuca d: plátano. Fuente: Acosta, 2013.

#### 2.4.3.1. Gelatinización

La gelatinización es una propiedad en la cual el almidón, al estar en presencia de un solvente y calor, ocasiona una disrupción en el orden molecular dentro del gránulo. La Figura 11. Muestra el proceso de gelatinización que ocurre en un grano de almidón. Inicialmente las dobles hélices de las moléculas se encuentran desordenadas (A), si a estas dobles hélices se les suministra o está en presencia de un solvente (normalmente agua) y/o, pueden llegar a absorber una cantidad pequeña de solvente ocurriendo una transición de desorden-orden (B), que puede llegar a ser reversible si la temperatura alcanzada es baja (por debajo de 60 °C). Finalmente, si a estas dobles hélices ya ordenadas se les continúa el suministro de calor, ellas absorben el solvente ocasionando su disrupción y terminando el proceso conocido como gelatinización del almidón, donde están dobles hélices terminan como cadenas ramificadas.

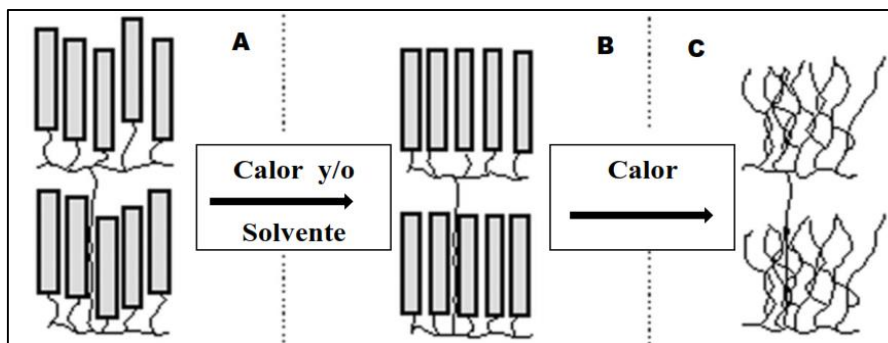


Figura 11. Proceso de gelatinización del almidón. Fuente: Acosta, 2013.

La temperatura de gelatinización de un almidón puede variar con la concentración almidón-agua, el tamaño de partícula y la forma del grano del almidón, como se demuestra más adelante. Además, la rampa de calentamiento puede afectar las mediciones, si está se realiza con alta razón de cambio.

El almidón por naturaleza es insoluble en agua fría debido a la estructura que presenta, al mezclarse en una suspensión acuosa, los gránulos absorben agua provocando un ligero hinchamiento y regresa a su tamaño original al ser sometidos al secado. La gelatinización es la modificación que ocurre cuando los gránulos de almidón en soluciones acuosas y con la aplicación de calor, éstos se hinchan debido a que absorben agua hasta un punto donde desaparece la estructura ordenada (pérdida de la birrefringencia) incrementándose la solubilidad del almidón. En la Figura 12, se representan los cambios del almidón al ser sometido a un proceso hidrotérmico. Inicialmente el gránulo de almidón se encuentra intacto, al aplicarle calor o una fuente de energía mecánica, enzimática y/o un ambiente químico, pierde su estructura y por consiguiente la pérdida del peso molecular. Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles en los que se incluyen la pérdida del orden; este comportamiento puede representarse en una curva de viscosidad, la cual puede ser obtenida por un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Figura 13), en la cual se muestran los parámetros como el pico de viscosidad máxima y el tiempo en que se obtiene, así como la temperatura de formación de pasta o de gel (viscosidad final) antes del rompimiento y la lixiviación de la amilosa (Rivas 2006).

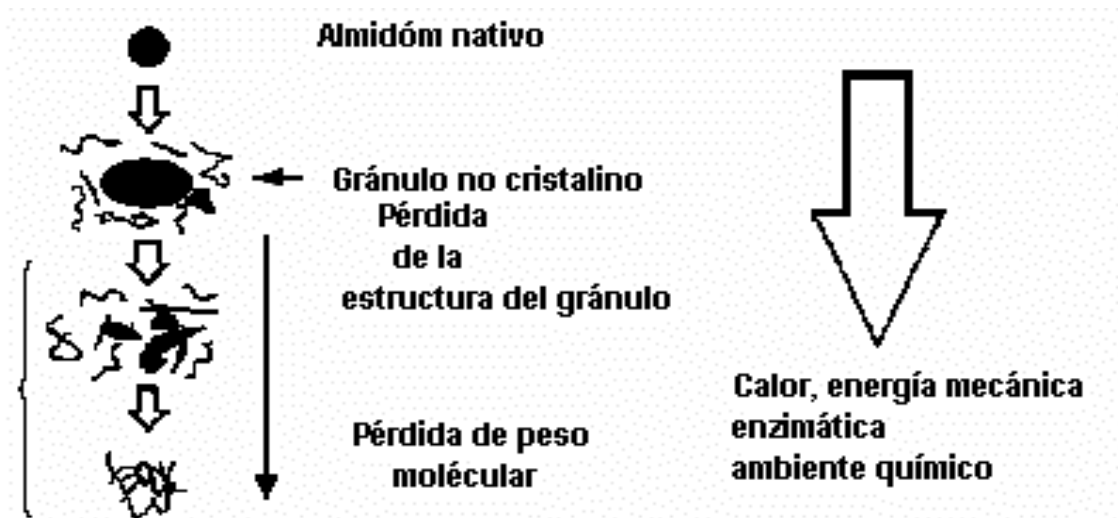


Figura 12. Comportamiento del almidón durante la conversión en exceso de agua.  
Fuente: Acosta, 2013.

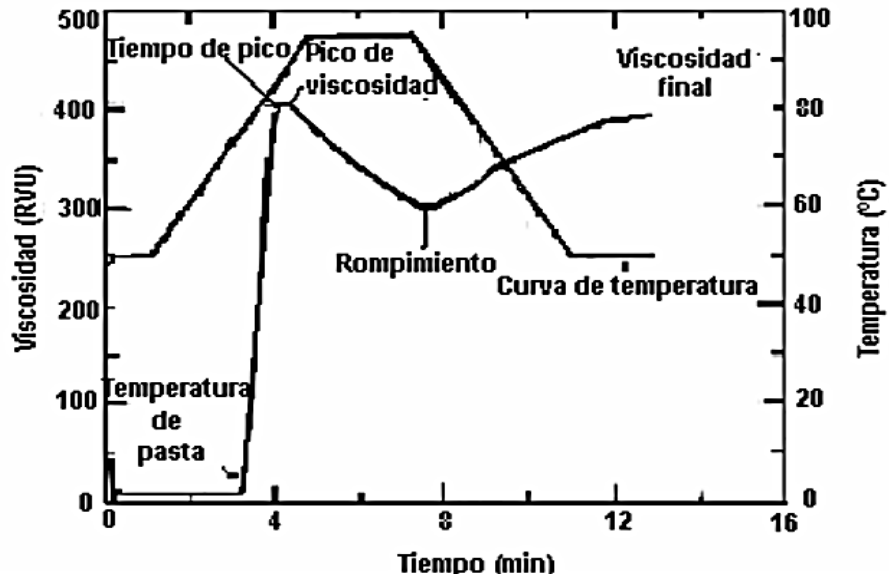


Figura 13. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón nativo. Fuente: Acosta, 2013.

#### 2.4.3.2. Retrogradación

La retrogradación se presenta durante el almacenamiento prolongado de las dispersiones de almidón gelatinizado. Las moléculas de almidón que, tras la gelatinización, se presentan en forma amorfa, gradualmente se reasocian formando cristales, que están compuestos por las dobles hélices del almidón. La formación de dobles hélices se debe a interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrogeno, las cuales se forman entre las cadenas del almidón. Las moléculas de amilosa retrogradan mucho más rápido que las moléculas de amilopectina. Las formaciones de dobles hélices en las moléculas de amilosa se presentan inmediatamente después de la gelatinización, por lo cual, la amilosa es la responsable de los cambios reológicos iniciales de las pastas de almidón. Por su parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a su estructura altamente ramificada. La velocidad de retrogradación depende de varios factores como: la longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos y derivados monoéster y fosfatos (Espinoza, 2008).

La retrogradación es la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus grupos hidroxilos; se puede llevar a cabo por diversos factores que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. La

retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles y afecta la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón. A pesar de que la amilosa y la amilopectina están sujetas a la retrogradación, al parecer la amilopectina es la molécula que más influye en los cambios que se suscitan en los alimentos que contienen almidón cuando se almacenan (Rivas, 2006).

El fenómeno de retrogradación es un proceso complejo que depende de diversos factores, como el pH, la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares, el tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento. Cuando la suspensión de almidón se gelatiniza y se enfría, está retrograda implicando cambios en la estructura cristalina y por consiguiente en sus propiedades mecánicas. En un estudio de calorimetría diferencial de barrido realizado por Paredes *et al.*, (1994), en almidón de amaranto, encontraron una menor tendencia a la retrogradación después de almacenarlo durante siete días, lo cual fue observado en una endoterma; sin embargo, los valores entálpicos aumentaron, hasta alcanzar valores más altos que los de maíz ceroso y normal. En todos los casos, los gráficos mostraron endotermas más amplias las cuales iniciaron a temperaturas menores a la de gelatinización, debido a la posible formación de cristales grandes e imperfectos. También encontraron que la amilopectina del almidón de amaranto presentó una baja tendencia a la retrogradación después de haber sido almacenada durante 21 días obteniendo endotermas pequeñas (Rivas, 2006).

#### **2.4.4. Analizador rápido de viscosidad (RVA)**

Como lo indica la compañía Perten (fabricante del RVA) en su página web, el RVA es un viscosímetro que cocina y agita muestras (mezcla de harina y agua) con perfiles de variables de temperatura y velocidad, optimizados para evaluar las propiedades viscosas de almidones, granos, harinas y alimentos. A partir de una cantidad mínima de harina de arroz (3 gramos), a la cual se le adiciona agua, y utilizando protocolos internacionales en materia de mezclado, medición, calentamiento y enfriamiento de la muestra, se obtienen gráficas en tiempo real que indican la curva de viscosidad, es decir el tiempo que se tarda la harina en transformarse en una pasta cocida, la temperatura a la que se da esta transformación y el comportamiento de la pasta a medida que se enfría. El RVA puede ser utilizado en el análisis de harina, calidad del grano, almidones naturales y modificados, alimentos concentrados (por ejemplo, salsa de tomate, aderezos, mayonesa, sopas, bebidas lácteas), otros ingredientes presentes en los alimentos (por ejemplo, hidrocoloides y proteínas), alimentos cocidos y

extrusionado (por ejemplo, cereales para desayuno, snacks, alimentos para mascotas, alimentos para peces y alimentos para animales), pruebas de fusibilidad (por ejemplo queso, chocolate y confitería) y “Mini Planta Piloto” para simular procesos a pequeña escala.

Previo al uso del RVA se debe hacer una adecuada preparación de la muestra de arroz que será evaluada. Una vez el arroz ha sido descascarado, pulido y molido, se pesan 3 g de harina de arroz y 25 ml de agua destilada en una balanza analítica. Ambos elementos se vierten en la cápsula de aluminio que provee el equipo, después se introduce el agitador y se llevan la torre receptora del equipo. En cuanto se presiona la torre el RVA comienza a correr, es decir el agitador gira a una velocidad constante de 160 RPM y todas las variables son registradas y graficadas en el computador. Se estima que el tiempo de cada prueba es de aproximadamente 13 minutos.

El RVA es un equipo ampliamente conocido y usado por los científicos e industrias dedicados a los almidones. Su funcionamiento y perfil de viscosidad, así como los parámetros que se pueden extraer de él, han sido estudiados suficientemente. La Figura 14 muestra un perfil de viscosidad aparente de un RVA, este perfil es presentado en inglés porque la mayoría de sus términos no tienen una traducción adecuada. El eje de las abscisas (X) muestra el tiempo de la prueba, el eje coordenado Y a la derecha es la temperatura, la línea punteada es el perfil de temperatura bajo el cual se corre la muestra; finalmente el eje coordenado Y a la izquierda es la viscosidad aparente medida por el equipo. Cada uno de los parámetros presentados son calculados por el software del equipo. (Pineda *et al.*, 2012).

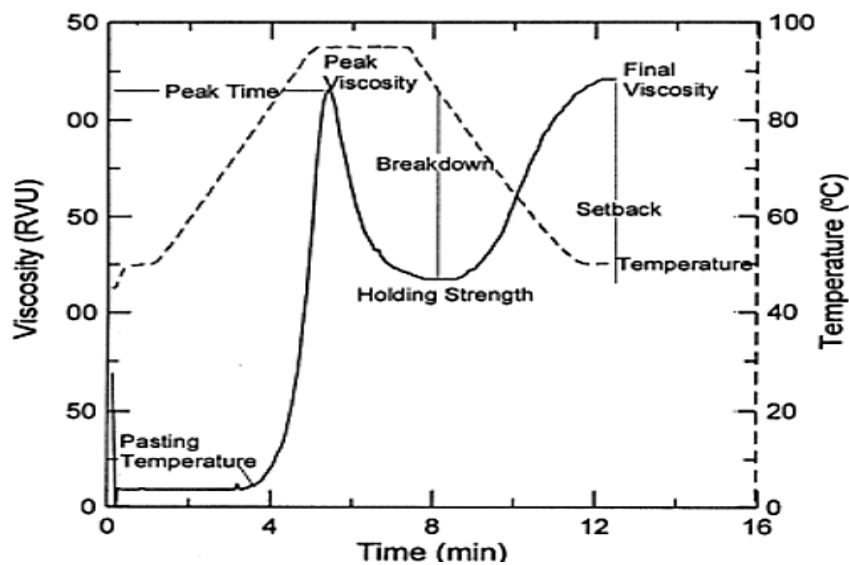


Figura 14. Perfil de viscosidad aparente de un RVA. Fuente: Pineda *et al.*, 2012.

**a) Temperatura de gel o pasta (Pasting temperature)**

Algunos autores la asumen como la temperatura de gelatinización, es la temperatura a la cual los granos de almidón están absorbiendo agua y están empezando el proceso de hinchamiento.

**b) Tiempo pico (Peak time)**

Es el tiempo en el cual se alcanza el máximo de viscosidad en la máxima temperatura.

**c) Pico de viscosidad (Peak viscosity)**

Es el registro de viscosidad máxima, alcanzada en el tiempo pico.

**d) Fuerza de cohesión (Holding strength)**

Es la viscosidad mínima durante el inicio del enfriamiento, relacionado a la liberación de agua por las moléculas de almidón

**e) Ruptura (Breackdown)**

También conocida como caída de viscosidad y es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad media.

**f) Viscosidad final (Final viscosity)**

Es la viscosidad a la cual llega la muestra después de finalizar la prueba.

**g) Restitución (Seetback)**

Es la diferencia entre la viscosidad media y la viscosidad final, está asociada con la retrogradación del almidón.

Desde el punto de vista mecánico, los RVA son viscosímetros de cilindros concéntricos, con la variante que el cilindro interno es un agitador o impulsor de una hélice, en el cual se fija la velocidad de corte (las revoluciones por minuto, rpm) y se mide el torque ejercido sobre la muestra. Acosta *et al.*, (2011), muestra las consideraciones que se deben tener para fijar las revoluciones en un RVA y explica porque son 160 rpm (Pineda *et al.*, 2012).

Los viscosímetros de cilindros concéntricos se han desarrollado con la teoría de números adimensionales y el teorema de Pi-Buckingham que aplicó Rushton, Costich y Everett, 1950, para la agitación de tanques. Posteriormente Metzner y Otto, 1959, y Metz, Kossen y van Suijdam, 1979, aplicaron los resultados a un viscosímetro de cilindros

concéntricos, pero realizaron simplificaciones que no permiten establecer condiciones de operación (Pineda *et al.*, 2012).

Existe muchos trabajos reportados en los cuales se utiliza el RVA para estudiar los almidones a continuación se van a citar algunos de los trabajos que se han realizado en los RVA y se ha involucrado distribución de tamaño de partícula, concentración, diversas fuentes botánicas, perfiles de temperatura, así como como herramientas matemáticas y empíricas para diversos fines.

Jing-Song, citado en Pineda *et al.*, (2012), determina la temperatura de gelatinización de almidones de arroz a partir de una aproximación empírica para hallar la temperatura de gelatinización de un perfil de viscosidad (RVA), además afirma que las temperaturas de pasto (pasting temperatura), halladas mediante el software del RVA, son relacionadas directamente con la temperatura de gelatinización y normalmente está sobreestimada para los almidones de arroz.

Acosta (2013), determinó mediante correlación entre calorimetría diferencial de barrido y un perfil de viscosidad aparente, que el inicio región II-b del RVA, es el punto donde está el pico de la temperatura de gelatinización, proporcionando una herramienta útil para determinar la temperatura de gelatinización a partir de un perfil de viscosidad aparente.

Espinoza (2008), determinó la estructura y propiedades fisicoquímicas de los almidones aislados de mango y plátano en estado inmaduro. Los resultados que se encontraron fue que el almidón de plátano presentó la temperatura (76.5 °C) y entalpía (16.5 J/g) de gelatinización más altas. Las pastas de almidón medidas mediante análisis rápido de viscosidad, tuvieron viscosidades pico de 215.8 y 194.1 RVU, con una temperatura de empastado de 79.3 y 71.3 °C, viscosidad final 323.8 y 239.1 RVU, para los almidones de plátano y mango, respectivamente. Por lo anterior, se encontró, que la estructura fina de la amilopectina está relacionada con las propiedades fisicoquímicas de los almidones de mango y plátano.

Pumacahua (2014b), realizó una investigación denominada: “Propiedades morfológicas, térmicas e químicas de amidos de quatro variedades de quinoa”, donde uno de los análisis realizados fue la determinación de las propiedades de pasta por medio de un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Serie 4, RVA de Newport Scientific Australia), donde las muestras fueron preparadas en las siguientes condiciones: almidón de quinua con 8% de dispersión (p/V) de concentración (2,25 g en 28 ml de agua destilada). El calentamiento y

enfriamiento fue de 23 minutos, estando por 1 minuto a 50 °C, calentado de 50 a 95 °C a 6 °C/min, mantenido a 95 °C durante 5 min y enfriado de 95 °C a 50 °C a 6 °C/min y finalmente mantenido a 50 °C por 2 min; encontrando los siguientes resultados: El comportamiento de las propiedades de pasta de los almidones de quinua determinados por el RVA se muestra en la Figura 15. La absorción de agua dentro de los gránulos comienza a partir de 3 a 4 minutos debido al aumento de la viscosidad. Observamos un aumento constante de 4 a 6 minutos, e iniciando inmediatamente un aumento exponencial de hasta 13 minutos y 95 ° C, a excepción del almidón de la Pasankalla (PA) que tiene un período más grande antes de crecimiento exponencial (Figura 15). Según Cereda *et al.*, citados en Pumacahua, (2014b) se centra las regiones donde la amilopeptina son más compactos, por lo que la entrada de moléculas de agua y, en consecuencia, aumentar el tiempo de fabricación de pasta. El almidón de la Blanca de Juli (BJ) alcanzó como viscosidad máxima (1881 cP), los almidones de la Salcedo Inia (SI) y Kancolla (KA) obtuvieron resultados similares y el de la Pasankalla (PA) tuvo el rendimiento más bajo. Se observó además que hubo una disminución de la viscosidad durante el enfriamiento la pasta y formación de gel de las variedades blancas y un aumento en la variedad Pasankalla (PA). La temperatura de la suspensión fue de entre 58 a 65 °C para los cuatro almidones, siendo estos valores coherentes con la temperatura de gelatinización mediante DSC.

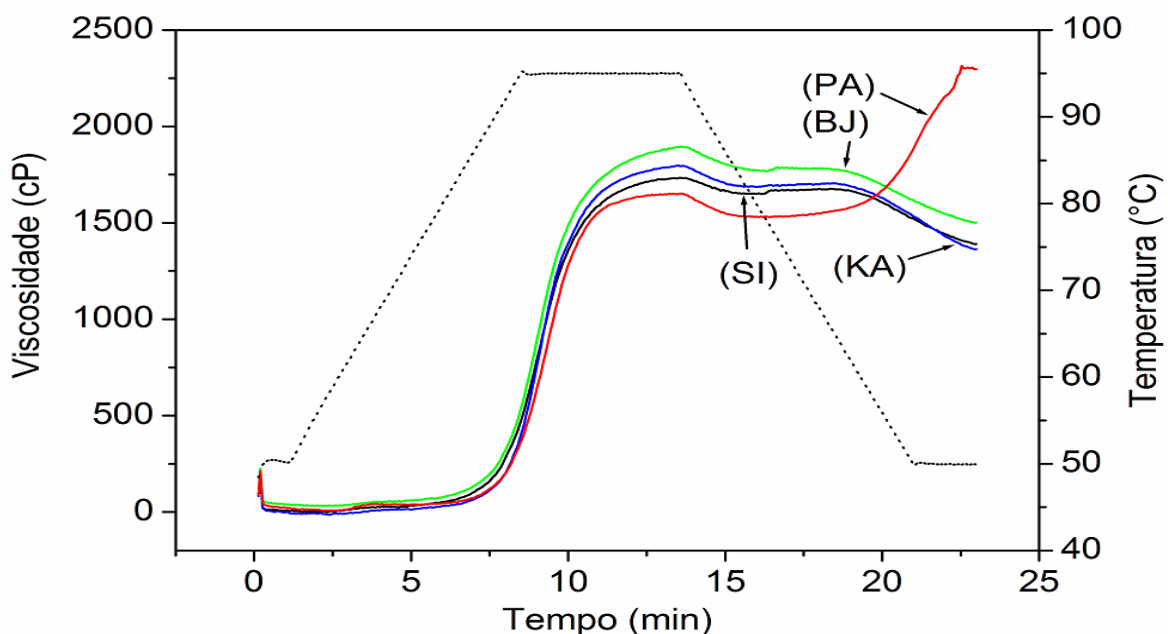


Figura 15. Perfiles de viscosidad mediante RVA de los almidones de quinua de las variedades Salcedo Inia, Kancolla, Blanca de Juli y Pasankalla extraídas mediante molienda húmeda Fuente: Pumacahua, 2014.

Los almidones de quinua presentaron resultados interesantes para aplicaciones en la industria de los alimentos. La alta temperatura de pasta indica buena estabilidad térmica de la pasta. El hecho de mantener la misma viscosidad a altas temperaturas puede ser útil en la elaboración de alimentos de baja grasa y análogos de carne. En cuanto a la cocción de los alimentos con almidones de quinua necesitaron de mayor tiempo de cocción. Estas características hacen de los almidones de quinua candidatos para aplicaciones alimenticias donde el alimento debe soportar altas temperaturas en altos tiempos sin pérdida de viscosidad (ver Tabla 3) (Pumacahua, 2014).

**Tabla 3**

*Propiedades de pasta de los almidones de cuatro variedades extraídos mediante molienda húmeda*

<b>Variedades</b>	<b>Etapas</b>	<b>t, min</b>	<b><math>\mu</math>,kg/m.s</b>	<b>T,°C</b>
SI	Inicio	2,4	1±33	58,3
	Pico	13,7	1734±53	93,9
	Quiebra	15,7	1650±47	81,9
	Final	23,0	1391±46	50,0
KA	Inicio	3,47	2±32	64,7
	Pico	13,47	1797±27	95,0
	Quiebra	16,00	1687±27	79,9
	Final	23,00	1363±33	50,0
BJ	Inicio	2,4	34±25	58,3
	Pico	13,6	1897±23	94,9
	Quiebra	16,3	1769±14	78,0
	Final	23,0	1502±29	50,0
PA	Inicio	2,4	9±8	58,3
	Pico	13,6	1652±53	94,9
	Quiebra	16,1	1530±58	79,6
	Final	23,0	2297±116	49,9

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de investigación**

La presente investigación; la parte de los análisis de determinación de parámetros, toma de muestras, evaluación de saponina y humedad, se realizaron en el laboratorio de las instalaciones de la empresa DE GUSTE GROUP S.A.C., ubicada en la ciudad de Juliaca en el Jr. María Parado de Bellido LOTE 10 MZ. B9 del departamento de Puno, ubicada a una altitud de 3824 m.s.n.m., así también para el molido de la quinua se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y para los análisis de propiedades de pasta de la harina se realizó en la empresa GRANOTEC S.A.C., ambas instituciones ubicadas en la ciudad de Lima a una altitud de 154 m.s.n.m.

#### **3.2. Materia prima, materiales y equipos**

##### **3.2.1. Materia prima**

**Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) orgánica**, se trabajó con quinua orgánica de variedad: Salcedo de INIA (Blanca); que se procesan en las instalaciones de la empresa DE GUSTE GROUP S.A.C, las mismas que son destinadas a la exportación.

##### **3.2.2. Materiales**

- Probetas y vasos precipitados (Pyrex de 10 y 100 ml)
- Tubos de ensayos con tapones de rosca 10 mL. (C/unid.)
- Pie de rey acero 300mm (T304B.W-1230)
- Gradilla metálica

### 3.2.3. Equipos y Maquinarias

- Escarificadora
- Lavadora por vapor caliente
- Secador por presión de vapor
- Analizador rápido de viscosidad (RVA) – Serie 4 -Newport Scientific Australia
- Medidor de humedad - SAMAP H40
- Balanza digital - EPSO 5 High Precisión Pocket Scale
- Molino de harina eléctrica por martillos - Thomas Wiley – Laboratory Mill – Model 4.

### 3.3. Metodología Experimental

En primer lugar, se debe señalar que las muestras de quinua fueron tomadas durante el proceso de obtención de quinua perlada en la empresa DE GUSTE GROUP S.A.C., por lo que se hace indispensable su descripción. El proceso de obtención de perlado de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*), que se desarrolla en la empresa se muestra a continuación en la Figura 16.

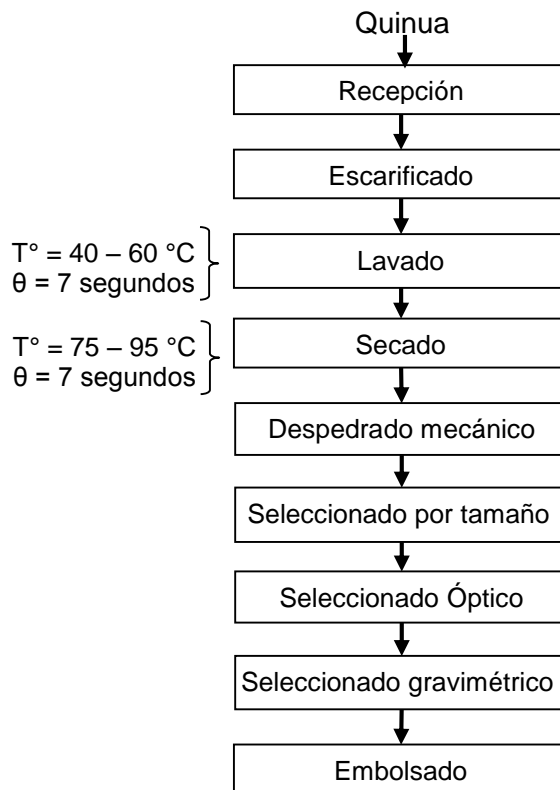


Figura 16. Diagrama de bloques para la obtención de quinua perlada de la empresa Deguste

### **a) Recepción**

Consiste en pesar y verificar que los sacos de quinua no se encuentren partidos, dañados, quebrados. Luego se procede al almacenado, en rumas encima de parihuelas, evitando contactos con el piso a fin de que la circulación del aire sea completa.

### **b) Escarificado**

Para este proceso se alimenta de quinua a las tolvas de alimentación y son transportadas por medio de una tubería hasta la Escarificadora. El proceso de escarificado consiste en la separación del pericarpio (descascarado) y segmentos secundarios del grano de quinua, donde se concentra el mayor contenido de saponinas, alcaloide - glucósido que le confiere el sabor amargo y astringente impropio para poder ser aprovechado en la alimentación. Esta fase se realiza a través de medios mecánicos abrasivos (máquinas peladoras y pulidoras en seco). La acción combinada de un tornillo sinfín y un cilindro estacionario, permite un constante raspado de los granos de quinua contra las paredes del cilindro, el polvillo desprendido de los granos pasa a través de la malla y es separado mediante el uso de succionadores de aire.

### **c) Lavado**

Este proceso tiene por finalidad terminar de eliminar los residuos de saponina que pudieron haber quedado en el grano de quinua. El cual consiste en lavar por medio de vapor caliente a temperatura de 40 a 60° C por un tiempo de 7 segundos.

### **d) Secado**

Consiste en retirar la humedad del grano por medio de aire seco en un corto tiempo de 7 segundos. En este proceso ingresa un flujo de aire seco previamente calentado, en forma vertical; que transporta el producto y seca a la vez. Se utiliza un secador estático de flujo de aire seco. Durante este proceso se aplica temperaturas que van desde 75 a 95 °C, buscando eliminar la humedad menor a 13.5% según exige la Norma Técnica Peruana (NTP 205.062-2009).

#### **e) Despedrado**

En esta etapa los granos son agitados horizontalmente, donde las piedras que tienen mayor densidad son desplazadas al fondo del equipo.

#### **f) Seleccionado por tamaño**

Consiste en separar los granos por tamaño. Tiene por finalidad separar por calidad, por medio de la diferencia de densidad.

#### **g) Seleccionado óptico**

Consiste en separar puntos de color distinto al grano mediante un clasificador óptico-neumático. Este proceso se realiza por medio del sensor óptico el mismo que utiliza aire comprimido, el cual permite la separación del grano al momento de detectar un color diferente.

#### **h) Seleccionado gravimétrico**

Se realiza con la finalidad retirar, pajillas, polvos y piedras tras las demás operaciones, utilizando una seleccionadora automática de granos. Este proceso se realiza por medio de diferencia de densidad.

#### **i) Embolsado**

Consiste en pesar y embolsar el producto terminado. Para su comercialización, la quinua perlada es envasada en bolsas de polietileno de baja densidad, celofán o polipropileno de 1/2 Kg y/o 1 Kg de peso en contenido; envasándose mecánicamente y cerrándose con selladoras de resistencia eléctrica, si los granos de quinua perlada serán utilizados en la elaboración de otros productos, se empaacan en bolsas de polipropileno de 50 Kg, o a granel en silos para su almacenamiento temporal.

Los granos se deben conservar en las condiciones apropiadas para garantizar su calidad sanitaria y organoléptica. La degradación de los granos en almacenamiento se ve afectada por la combinación de tres factores ambientales por lo que se controla estos parámetros: temperatura y humedad.

El almacenamiento de los granos se realiza en ambientes secos, frescos y bien aireados y teniendo como base parihuelas de madera.

### 3.3.1. Determinación de los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad

#### 3.3.1.1. Determinación de los niveles de las variables independientes y dependientes

Se estableció como variables independientes las temperaturas de lavado y secado de quinua. Las mismas que fueron determinadas a partir de los registros de Kárdex de la empresa. Los registros de temperaturas de lavado se registraron en un rango de 40 a 60 °C y temperaturas de secado de 75 a 95°C. Por lo tanto, en la Tabla 4, se muestran las variables independientes con sus valores naturales y codificados considerando cinco niveles para cada variable de estudio. La obtención de los valores de mínimos y máximos (-1 y 1), para cada variable se detallan en el Anexo V.

**Tabla 4**

*Niveles utilizados para las variables independientes para la optimización de parámetros*

<b>Variab</b> les Independientes	<b>-α</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>+α</b>
<b>T° Lavado (°C)</b>	40	42.93	50	57.07	60
<b>T° Secado (°C)</b>	75	77.93	85	92.07	95

Así también en la Tabla 5, se muestran las variables dependientes o de respuestas que corresponden a los contenidos de saponina y humedad en el grano de quinua.

**Tabla 5**

*Niveles utilizados para las variables dependientes*

<b>Variab</b> les Dependientes	<b>Unidades de medida</b>	<b>Requisitos bromatológicos (NTP 205.062-2009)</b>	
		<b>Valores Mínimos</b>	<b>Valores Máximos</b>
<b>Saponina</b>	%	-	13.5
<b>Humedad</b>	%	Ausencia ó equivalente a 0%	

Se evaluaron en base al porcentaje de humedad y porcentaje de saponina de tal manera que se pueda observar si los parámetros que se emplean en planta permiten que los niveles de saponina y humedad se encuentren dentro de los niveles requeridos por la Norma Técnica Peruana (NTP 205.062-2009) (ver Anexo E) y a su vez en el siguiente objetivo verificar si estos mismos parámetros provocaron una gelatinización del almidón.

### 3.3.1.2. Determinación del Diseño experimental para optimización de parámetros de temperatura de lavado y secado

Se utilizó un diseño de compuesto central rotatable:  $2^2+$  estrella en el cual se evaluó los efectos de 2 factores en 10 corridas. El diseño fue ejecutado en un solo bloque y el orden de los experimentos fue aleatorizado. Este diseño experimental se detalla decodificado en la Tabla 6. Las metodologías empleadas para las variables de respuesta fueron por: el equipo de medidor de humedad para él % de humedad y el método normal de la espuma para él % de saponina (ver anexo U). Los resultados obtenidos se analizaron por medio del paquete estadístico Statgraphics versión Centurión XVI.II y para la optimización de ambos parámetros se utilizó el paquete estadístico Design Expert 7.0.0.

**Tabla 6**

*Valores decodificados de las variables independientes del diseño compuesto central:  $2^2+$ estrella el cual estudió los efectos de 2 factores en 10 corridas.*

N° Tratamientos	Variables Independientes Codificado		Variables Independientes Decodificado	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T° LAVADO	T° SECADO
1	0	0	50	85
2	-1	-1	43	78
3	1	-1	57	78
4	-1	1	43	92
5	1	1	57	92
6	-1.4142	0	40	85
7	1.41421	0	60	85
8	0	-1.41421	50	75
9	0	1.41421	50	95
10	0	0	50	85

### 3.3.2. Determinación de las propiedades de pasta, mediante el análisis rápido de viscosidad (RVA)

#### 3.3.2.1. Obtención de harina de quinua en base a los parámetros de lavado y secado

Para la determinación de las propiedades de pasta, se acondicionó la muestra de quinua convirtiéndola en harina; para este proceso se tomó las muestras de grano de quinua obtenidas del primer objetivo, para ser llevadas a un proceso de molienda fina, a una granulometría de 0.5 mm., en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina en un molino eléctrico por martillos.

### 3.3.2.2. Determinación de los niveles de las variables independientes y dependientes

Se utilizó el mismo diseño empleado para el primer objetivo, donde se estableció como variables independientes las temperaturas de lavado y secado de quinua, considerándose cinco niveles en cada variable de estudio. Así también se empleó como blanco muestras de quinua sin tratamiento. En la Tabla 7, se muestran las variables independientes con sus valores naturales y codificados.

**Tabla 7**

*Niveles utilizados para las variables independientes*

<b>Variables Independientes</b>	<b>-<math>\alpha</math></b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>+<math>\alpha</math></b>	<b>Blanco</b>
<b>T° Lavado (°C)</b>	40	42.93	50	57.07	60	Quinua sin
<b>T° Secado (°C)</b>	75	77.93	85	92.07	95	Tratamiento

Así también en la Tabla 8, se muestran las variables dependientes o de respuestas que corresponden a las propiedades de pasta de la harina de quinua.

**Tabla 8**

*Niveles utilizados para las variables dependientes*

	<b>Variables Dependientes</b>	<b>Unidades</b>
<b>Propiedades de Pasta:</b>	Temperatura de pasta	°C
	Tiempo pasta	Min.
	Pico de viscosidad (Pico 1)	Cp.
	Fuerza de retención	Cp.
	Quiebre (Pico 1 – Fuerza de retención)	Cp.
	Viscosidad final	Cp.
	Retrogradación (Viscosidad Final – Fuerza de retención)	Cp.

### 3.3.2.3. Determinación de las propiedades de pasta, mediante el análisis rápido de viscosidad (RVA)

Para este objetivo se consideró 11 muestras de harina de quinua (10 del diseño compuesto central rotatable  $2^2$ +estrella y 1 blanco sin tratamiento) (descritas anteriormente en las variables independientes y dependientes), las mismas que fueron llevadas a los laboratorios de GRANOTEC S.A.C. para su análisis de las propiedades de pasta. En la Tabla 9, se describe los tratamientos analizados, los mismos que fueron comparados frente al Blanco (M0).

**Tabla 9**

Valores decodificados de las variables independientes el cual estudió los efectos de 2 factores en 11 corridas.

N° Tratamientos	Variables Independientes Codificado		Variables Independientes Decodificado	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T° LAVADO	T° SECADO
<b>0 (Blanco)</b>	-	-	0	0
<b>1</b>	0	0	50	85
<b>2</b>	-1	-1	43	78
<b>3</b>	1	-1	57	78
<b>4</b>	-1	1	43	92
<b>5</b>	1	1	57	92
<b>6</b>	-1.4142	0	40	85
<b>7</b>	1.41421	0	60	85
<b>8</b>	0	-1.41421	50	75
<b>9</b>	0	1.41421	50	95
<b>10</b>	0	0	50	85

El procedimiento para su análisis se realizó tomando de referencia la metodología aplicada por Pumacahua (2014b). Por lo tanto, en la determinación de las propiedades de pasta se utilizó harina de quinua con 8% de dispersión (p/V) de concentración (2,25 g en 28 ml de agua destilada). El tiempo total de calentamiento y enfriamiento fue de 23 minutos, estando por 1 minuto a 50 °C, calentando de 50 a 95 °C a 6 °C/min, mantenido a 95 °C durante 5 min y enfriado de 95 °C a 50 °C a 6 °C/min y finalmente mantenido a 50 °C por 2 min.

Para la descripción general de la metodología a continuación se muestra el esquema experimental que se siguió en la Figura 17.

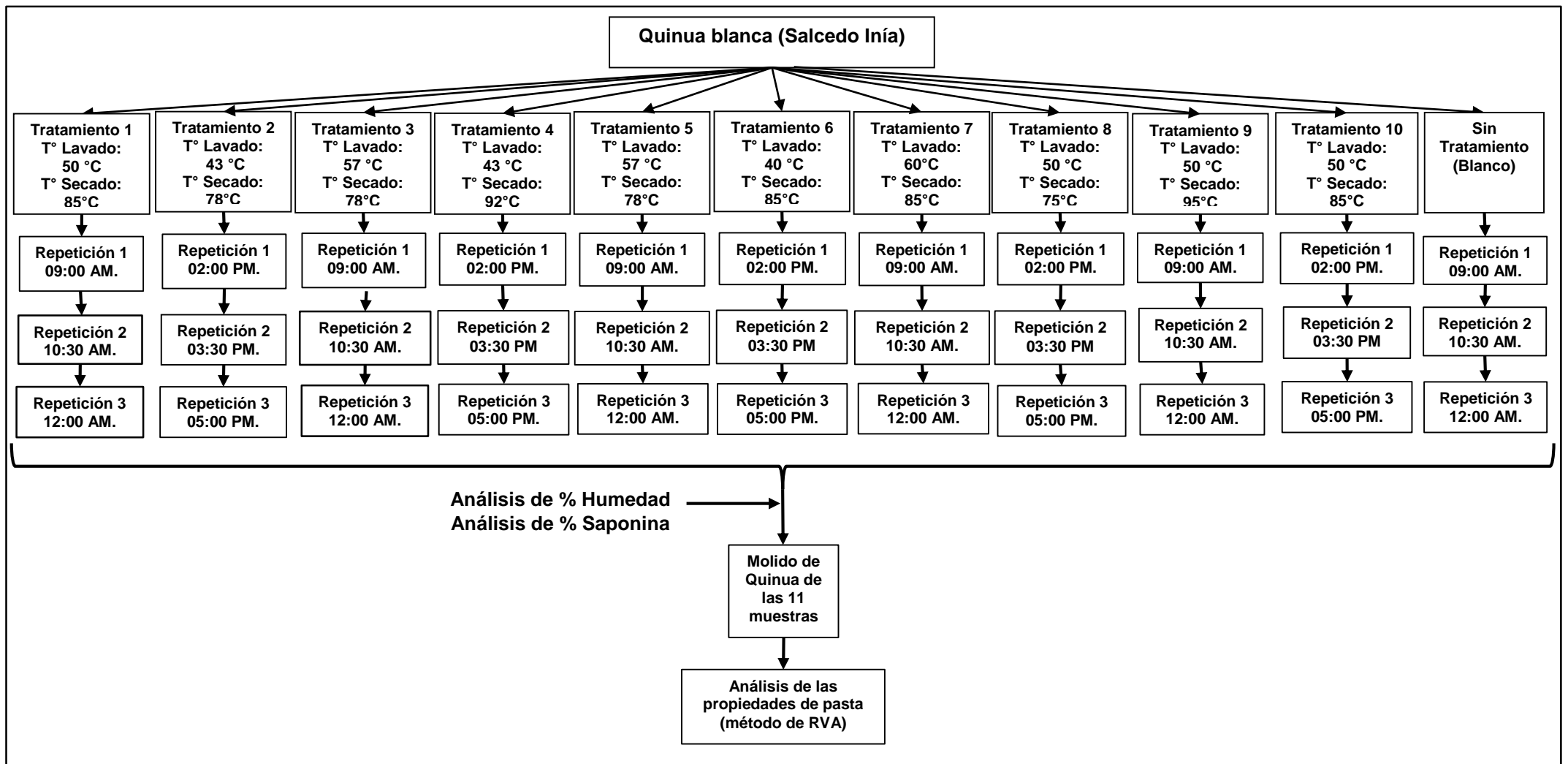


Figura 17. Esquema experimental de la evaluación de parámetros de saponina, humedad y propiedades de pasta en las harinas de quinua.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Resultados de los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad

Los valores de los datos obtenidos para la determinación del porcentaje de saponina con 3 repeticiones, así como el porcentaje de humedad; se muestran en el Anexo B y las evidencias en el Anexo C. En la Tabla 10, se muestra el promedio de los porcentajes de saponina y humedad con su respectiva desviación estándar, donde se evaluó la influencia de los factores estudiados (temperaturas de lavado (°C) y secado (°C)) mediante un diseño compuesto central rotatable de 2 variables con 2 niveles ( $2^2$ ) con un valor de  $\alpha$  de 0.05.

**Tabla 10**

*Resultados de los porcentajes de saponina y humedad durante el proceso de lavado y secado de quinua.*

N° Tratamientos	Variables Independientes Decodificadas		Resultados Promedio	
	T° Lavado	T° Secado	% Saponina	% Humedad
1	50	85	-0.01±0.01	13.00±0.00
2	43	78	0.03±0.02	12.67±0.58
3	57	78	0.00±0.00	13.00±0.00
4	43	92	0.04±0.00	12.67±0.58
5	57	92	0.00±0.00	13.00±0.00
6	40	85	0.02±0.01	12.07±0.15
7	60	85	0.04±0.01	13.00±0.00
8	50	75	0.02±0.00	13.00±0.00
9	50	95	0.02±0.00	12.47±0.06
10	50	85	-0.01±0.01	13.00±0.00

#### 4.1.1. Evaluación de la Saponina

En la Figura 18, se muestra el diagrama de Pareto Estandarizado para evaluar el efecto de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de Saponina.

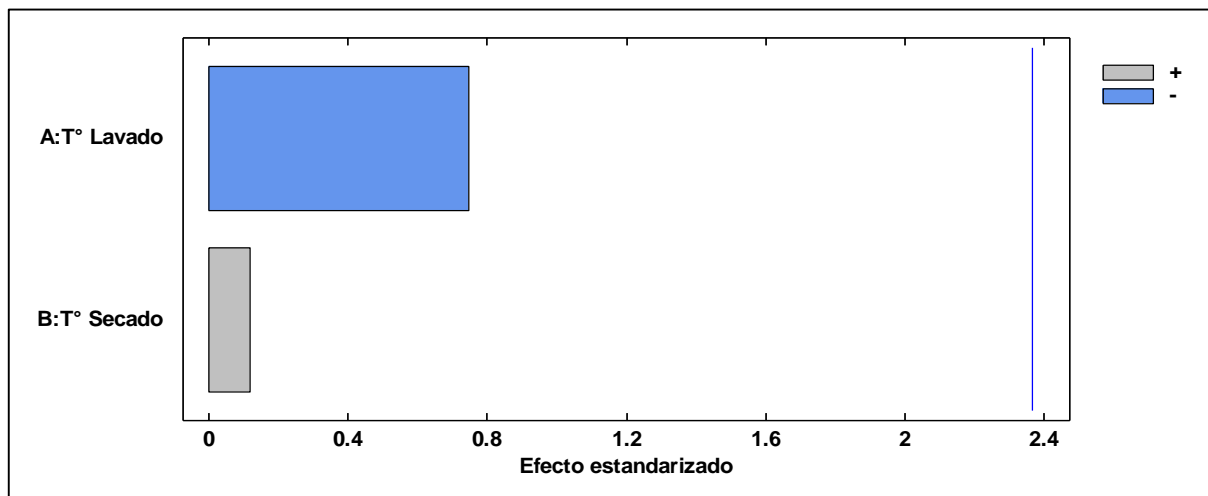


Figura 18. Diagrama de Pareto estandarizada para porcentaje de saponina.

Se observa que los tratamientos de temperatura de lavado y secado no presentan efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de saponina.

Así también los resultados del análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de saponina (Anexo S), muestran un P-Valor $>0.05$  para los tratamientos de lavado y secado, indicando que no son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.00%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 58.31% de la variabilidad en porcentaje de saponina. Siendo esto evidencia que la temperatura de lavado y secado no influyen significativamente en la reducción del porcentaje de Saponina en el grano de quinua.

Para mayor comprensión del efecto de los tratamientos se realizó una evaluación por separado del efecto de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de saponina, por medio del Diagrama de la Prueba de Tukey.

Por lo tanto, en la Figura 19, se muestra en primer lugar el diagrama de la prueba de Tukey para el porcentaje de saponina, en función de los tratamientos de temperaturas de lavado de la quinua que van desde 40 hasta 60 °C.

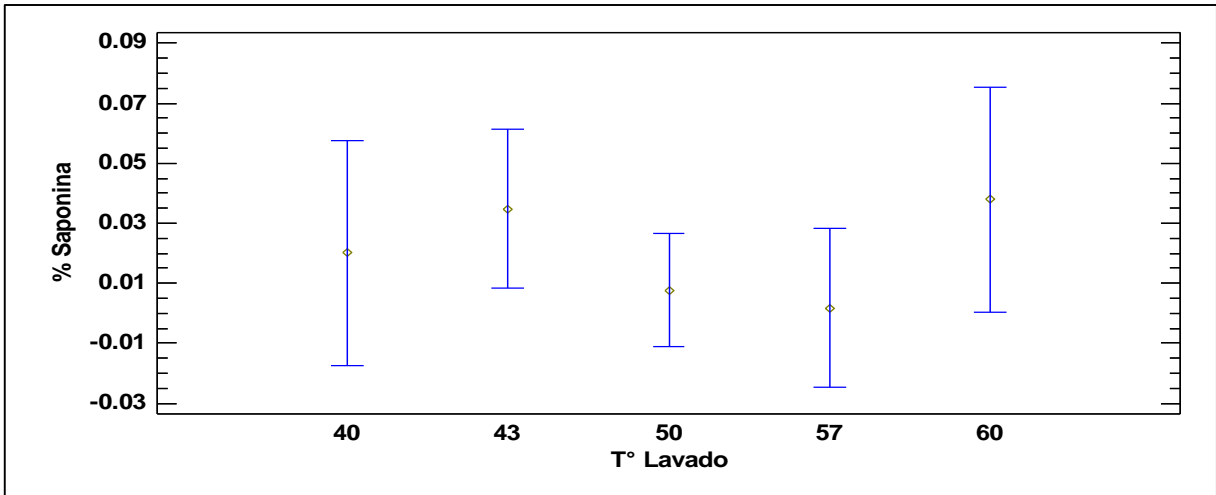


Figura 19. Diagrama de prueba de Tukey para % de saponina por el tratamiento de lavado.

Como se observa en la Figura 19, las medias de los porcentajes de saponina en las cinco temperaturas son semejantes, no existiendo diferencia estadísticamente significativa. Por lo que el aplicar cualquiera de estas cinco temperaturas de lavado de la quinua no afectaría en el porcentaje de saponina. Sin embargo, si se pretendiera ahorrar energía para la extracción de la saponina se recomendaría aplicar una temperatura de lavado de 40 °C, pues según este diagrama la quinua sometida a temperaturas bajas las medias del porcentaje de saponina son cercanas y se interceptan cuando se somete el grano a mayores temperaturas de lavado.

En la Figura 20, se muestra en segundo lugar el Diagrama de la prueba de Tukey para el porcentaje de saponina, en función de los tratamientos de temperaturas de secado de la quinua que van desde 75 hasta 95 °C.

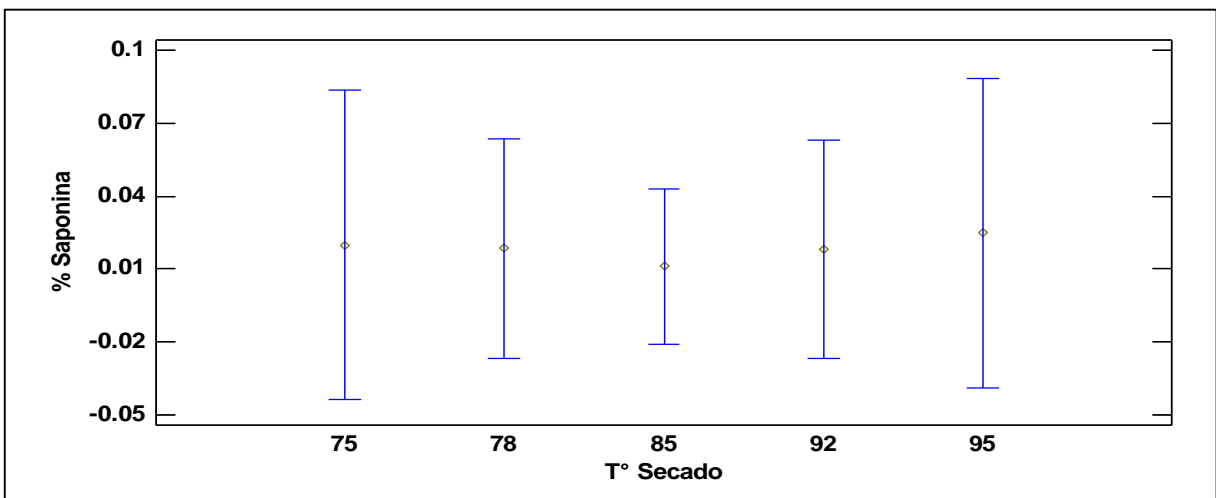


Figura 20. Diagrama de prueba de Tukey para el % de saponina por el tratamiento de secado.

Como se aprecia en la Figura 20, los porcentajes de saponina en las cinco temperaturas son semejantes y se interceptan, no existiendo diferencia estadísticamente significativa. Por lo tanto, si se quisiera ahorrar energía para la extracción de la saponina se recomendaría aplicar una temperatura de secado de 75 °C, pues según este diagrama la quinua sometida a temperaturas bajas las medias del porcentaje de saponina son semejantes cuando se eleva la temperatura de lavado.

Por otro lado, en la Figura 21, se observa la gráfica de los efectos principales de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de saponina.

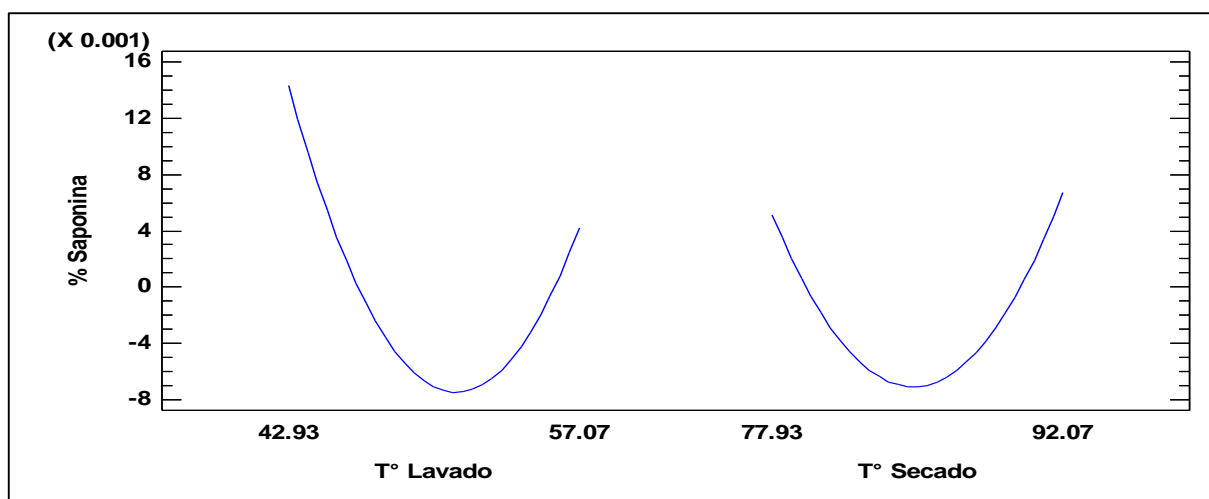


Figura 21. Gráfica de efectos principales para el porcentaje de saponina.

Según la Figura 21, se muestra en primer lugar que, a una temperatura baja de lavado de 43 °C, el porcentaje de saponina es alto y a su vez el someter el grano de quinua a temperaturas altas menores a 57 °C, se puede alcanzar los porcentajes de saponina más bajos. En segundo lugar, podemos observar del mismo modo que para el parámetro de secado las temperaturas bajas no favorecen a eliminar el porcentaje de saponina; sin embargo, los puntos de temperaturas de secado no se encuentran muy distanciados entre sí.

A continuación, en la Figura 22 se muestra el diagrama de contorno de la superficie de respuesta estimada, de los tratamientos de lavado y secado en base al contenido de saponina.

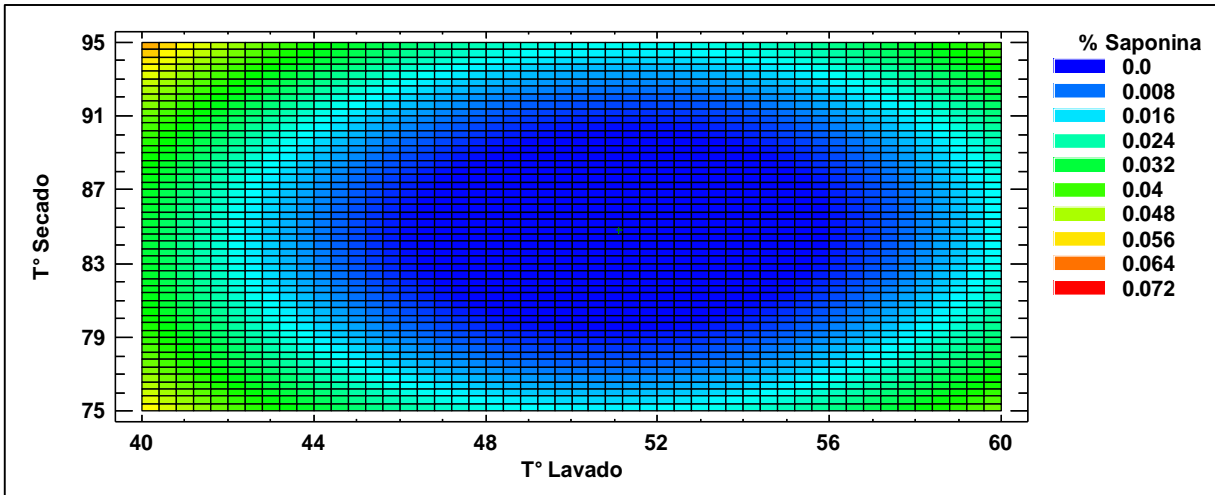


Figura 22. Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada del porcentaje de Saponina

Conforme a la Figura 22, las temperaturas más bajas y más altas de lavado y secado, provocan porcentajes altos de saponina; los cuales se muestran de color próximo a rojo, y se observa además que la región óptima se encuentra en la región de color azul con parámetros de temperaturas intermedias, favoreciendo a la eliminación de saponina en el grano.

En la Figura 23, se muestra el gráfico de la curva de superficie respuesta estimada, de los tratamientos de lavado y secado en base al contenido de saponina.

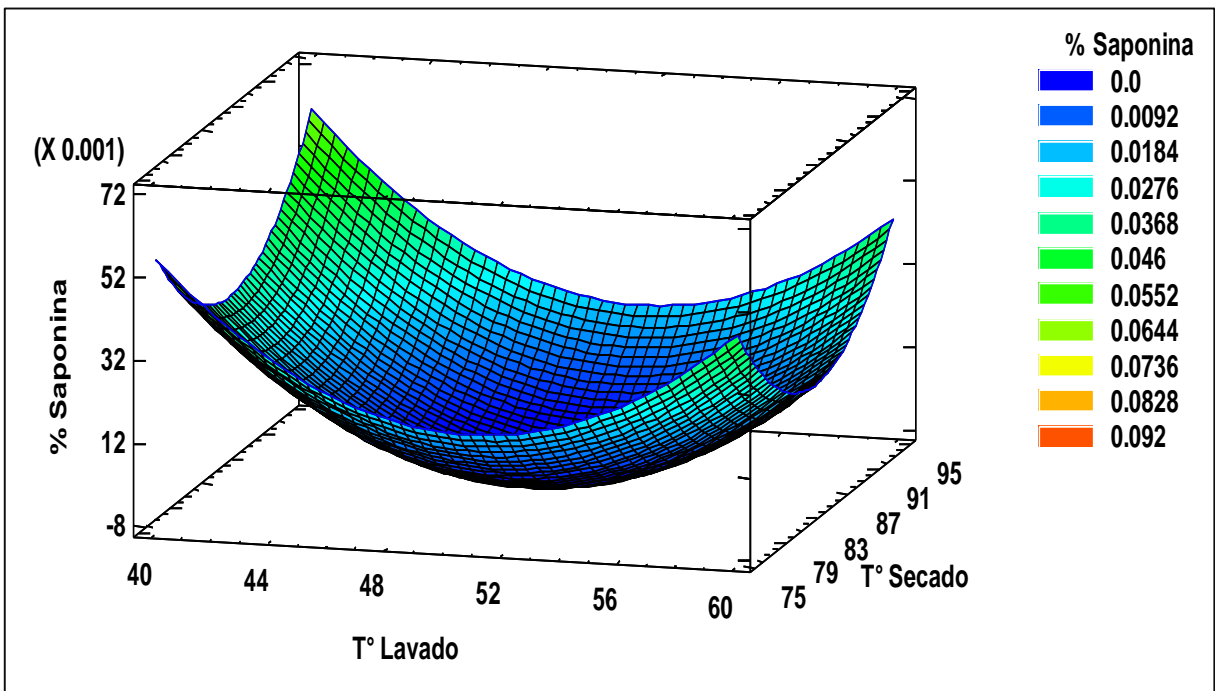


Figura 23. Gráfico de Superficie de Respuesta estimada del porcentaje de saponina.

Según la Figura 23, las temperaturas bajas de lavado y secado provocan porcentajes altos de saponina de 40 y 95 °C respectivamente; los cuales presentan una pendiente más elevada ubicadas en los alrededores de la superficie, y a su vez se observa que la región óptima se encuentra en el centro presentando una pendiente más baja próxima a la base con parámetros de intermedios de lavado y secado 52 y 85 °C respectivamente, favoreciendo a la eliminación de saponina en el grano. Por lo que podemos afirmar que a temperaturas más altas de lavado la absorción de la saponina incrementa. Coincidiendo con lo teoría que sostiene Diego (2008), la cual consiste en que a mayor temperatura la solubilidad del compuesto aumenta, así como se observa en la Figura 24.

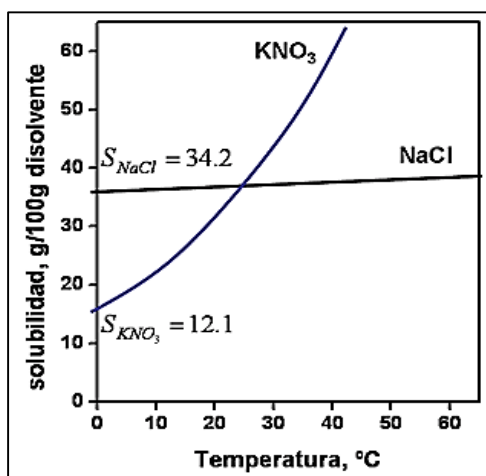


Figura 24. Efecto de la temperatura en la solubilidad de sólidos en líquidos.

Finalmente, para poder obtener el parámetro óptimo de temperatura de lavado y secado en función del contenido de Saponina, se propuso como meta minimizar el porcentaje de Saponina, dando como resultado un valor óptimo de 0% de saponina, y los parámetros óptimos, como se muestra en la Tabla 11 a continuación.

**Tabla 11**

*Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de saponina*

Parámetros	Parámetro Mínimo	Parámetro Máximo	Parámetros Óptimos
Temperatura de lavado	40.0 °C	60.0 °C	51.09 °C
Temperatura de secado	75.0 °C	95.0 °C	84.83 °C

En la Tabla 11, se muestra la combinación de los niveles de los parámetros, la cual minimiza el porcentaje de Saponina sobre la región indicada. Sin embargo, se debe de mencionar que los rangos de temperaturas de tratamientos que se recomiendan a aplicar; son todos los tratamientos propuestos en el diseño, coincidiendo con los resultados de significancia

mostrados anteriormente. Cumpliendo así con el porcentaje de saponina requerido por la Norma Técnica Peruana (NTP 205.062-2009).

A raíz de los resultados óptimos hallados para esta variable, la ecuación de modelo ajustado para el % de saponina correspondiente es:

$$\% \text{ Saponina} = 2.63209 - 0.031667 \cdot T^\circ \text{ Lavado} - 0.0431604 \cdot T^\circ \text{ Secado} + 0.000326518 \cdot T^\circ \text{ Lavado}^2 - 0.0000200344 \cdot T^\circ \text{ Lavado} \cdot T^\circ \text{ Secado} + 0.00026044 \cdot T^\circ \text{ Secado}^2 \quad (6)$$

#### 4.1.2. Evaluación de la humedad

A continuación, se detallan los resultados encontrados para la variable en estudio que corresponde en segundo lugar al porcentaje de humedad.

En la Figura 25, se muestra los diagramas de Pareto estandarizado para evaluar los efectos de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de humedad.

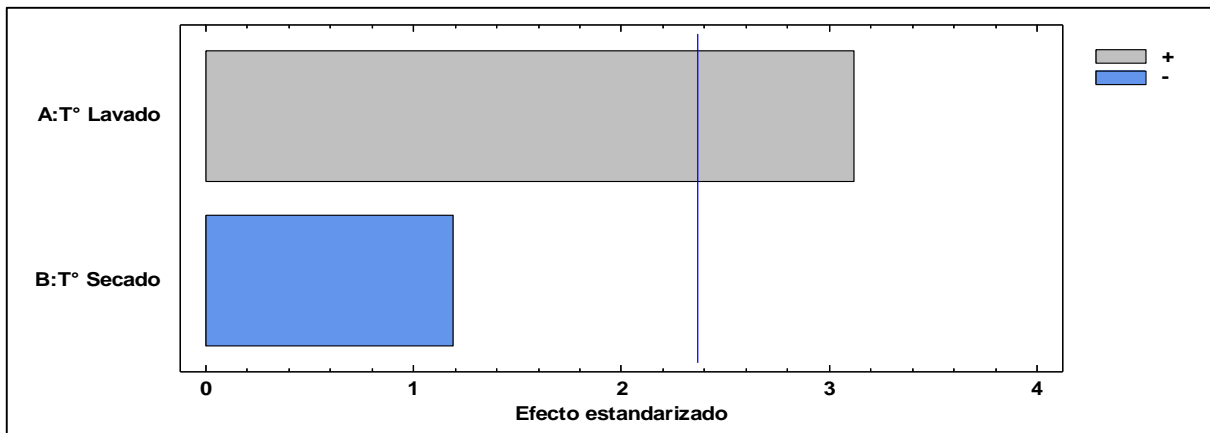


Figura 25. Diagrama de Pareto estandarizada para % de humedad.

Donde se evidencia que el parámetro que presenta mayor efecto estadísticamente significativo en el porcentaje de humedad es la temperatura de lavado. Así también se observa que la temperatura de secado no influye de manera significativa.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de humedad (Anexo T), muestran un P-Valor < 0.05 para el tratamiento de lavado, indicando que sólo 1 efecto es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 78.56% de la variabilidad en porcentaje de humedad. Siendo esto evidencia que solo la temperatura de lavado influye significativamente en el contenido del porcentaje de humedad del grano de quinua. A partir de

este resultado se puede afirmar que no existe necesidad de someter el grano a temperaturas altas de secado ya que la reducción del porcentaje de humedad depende de la temperatura a la que se someta el grano en el proceso de lavado, ya que, a mayor temperatura de lavado, menor es el tiempo de hidratado del grano y por ende mayor contenido de humedad. Coincidiendo de esta manera con los resultados reportados por Pumacahua (2011), donde reporta que una temperatura alta permite mayor absorción de agua en menor tiempo.

Al igual que en la primera variable, para mayor comprensión del efecto de los tratamientos se realizó una evaluación por separado del efecto de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de humedad, por medio del Diagrama de la Prueba de Tukey.

Por lo tanto, en la Figura 26, se muestra en primer lugar el Diagrama de la prueba de Tukey para el porcentaje de humedad, en función de los tratamientos de temperaturas de secado de la quinua que van desde 75 hasta 95 °C.

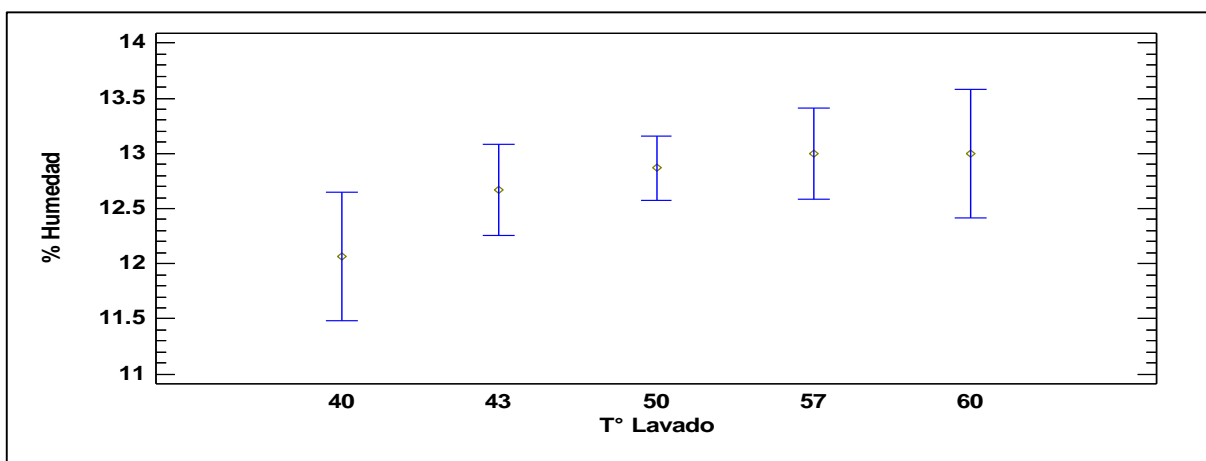


Figura 26. Diagrama de prueba de Tukey para % de humedad por el tratamiento de lavado.

Como se observa en la Figura 26, las medias de los porcentajes de humedad en las cinco temperaturas son diferentes, existiendo diferencia estadísticamente significativa. Por lo que el aplicar temperaturas de lavado de 40 °C, nos permite obtener un menor porcentaje de humedad. Y al momento de elevar la temperatura de lavado, la absorción de agua en el grano aumenta, por lo que provoca un incremento de humedad. Por lo tanto, si se pretendiera ahorrar energía para la reducción de la humedad se recomendaría aplicar una temperatura de lavado de 40 °C, pues según este diagrama la quinua sometida la media del porcentaje de saponina a 40 °C es semejante a 43 °C y a su vez diferente de las temperaturas de 50, 57 y 60 °C y estos se interceptan cuando se somete el grano a temperaturas mayores de lavado.

En la Figura 27, se muestra en segundo lugar el Diagrama de la prueba de Tukey para el porcentaje de saponina, en función de los tratamientos de temperaturas de secado de la quinua que van desde 75 hasta 95 °C.

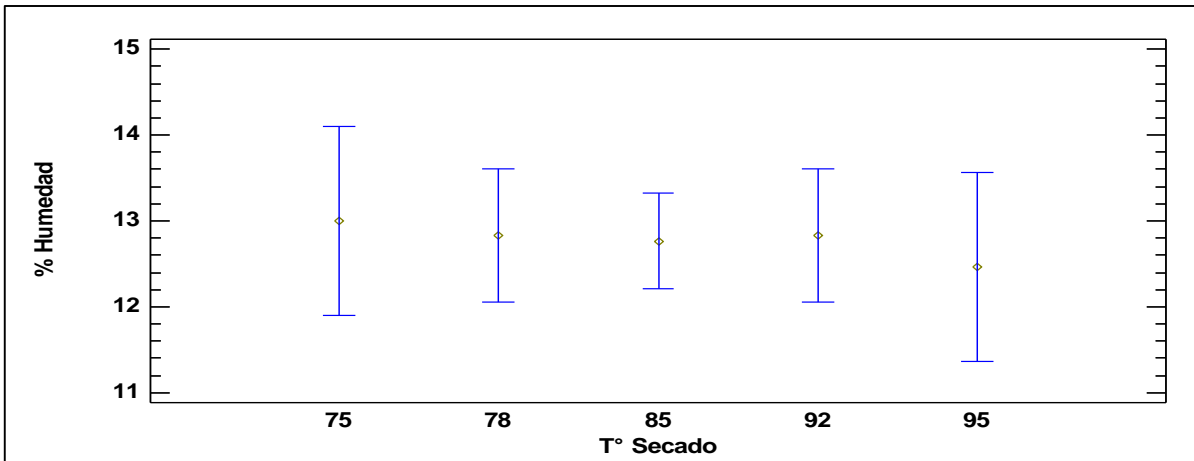


Figura 27. Diagrama de prueba de Tukey para % de humedad por el tratamiento de secado.

Como se observa en la Figura 27, los porcentajes de humedad en las cinco temperaturas son semejantes y se interceptan, no existiendo diferencia estadísticamente significativa. Por lo tanto, si se quisiera ahorrar energía para la reducción de la humedad se recomendaría aplicar una temperatura de secado de 75 °C, pues según este diagrama la quinua sometida a temperaturas bajas las medias del porcentaje de humedad son semejantes cuando se eleva la temperatura de secado.

Por otro lado, en la Figura 28, se observa la gráfica de los efectos principales de las temperaturas de lavado y secado en el porcentaje de humedad.

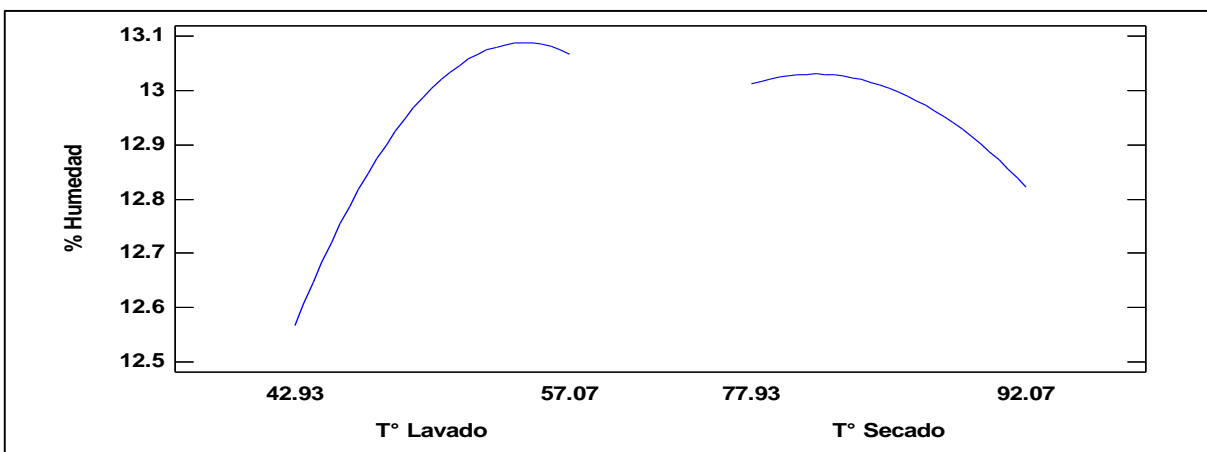


Figura 28. Gráfica de efectos principales para porcentaje de humedad.

Según la Figura 28, se muestra en primer lugar que la temperatura baja de lavado de 43 °C permite obtener un menor porcentaje de humedad y a su vez el someter el grano de quinua a temperaturas altas de lavado menores a 57 °C, se alcanzan los porcentajes de humedad más altos, debido al incremento de su capacidad de absorción de agua en temperaturas altas. En segundo lugar, podemos observar del mismo modo que para el parámetro de secado las temperaturas bajas no favorecen para eliminar el porcentaje de humedad; sin embargo, los puntos de temperaturas de secado no se encuentran muy distanciados entre sí, considerados por esto una variable no significativa.

A continuación, en la Figura 29, se muestra el diagrama de contorno de la superficie de respuesta estimada, de los tratamientos de lavado y secado en base al contenido de humedad.

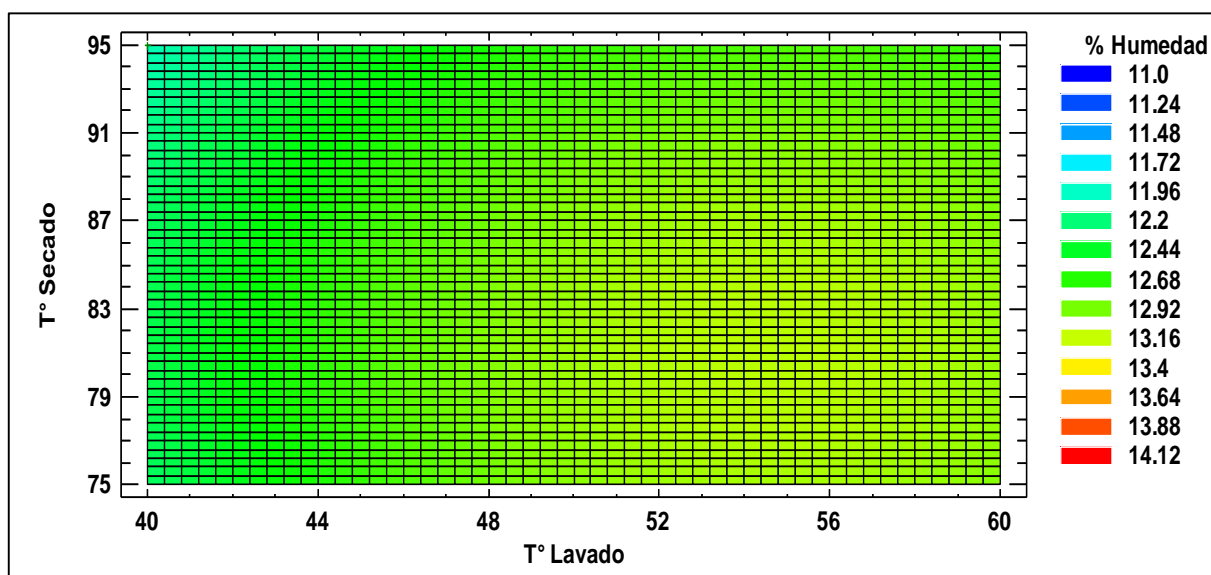


Figura 29. Contornos de la Superficie de Respuesta Estimada para % de humedad

Conforme a la Figura 29, las temperaturas más altas de lavado y temperaturas más bajas de secado provocan porcentajes altos de humedad; los cuales se muestran de color próximo al amarillo. Se observa además que la región óptima se encuentra en la región de color celeste con parámetros de temperaturas más bajas de lavado y temperaturas más altas de secado, favoreciendo a la eliminación del contenido de agua en el grano.

En la Figura 30, se muestra el gráfico de la curva de superficie respuesta estimada, de los tratamientos de lavado y secado en base al contenido de saponina.

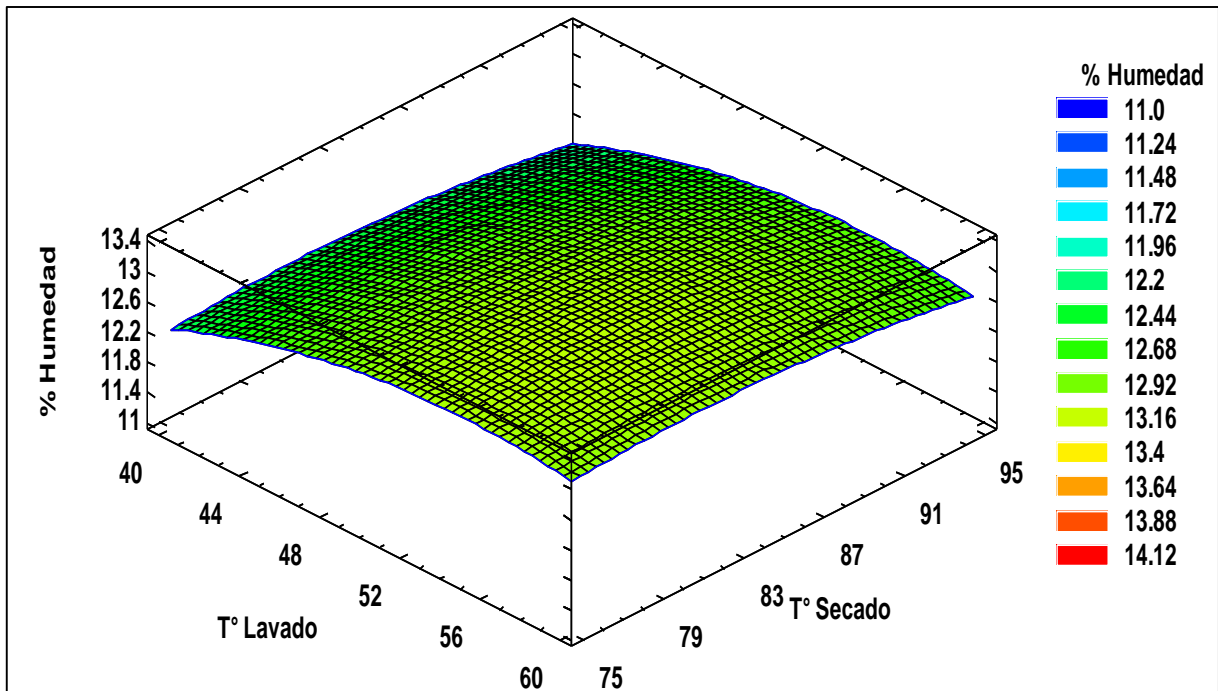


Figura 30. Gráfico de Superficie de Respuesta estimada para % de humedad

Conforme a la Figura 30, las temperaturas más altas de lavado (60 °C) y temperaturas más bajas de secado (75 °C) provocan porcentajes altos de humedad; los cuales se muestran con una pendiente más elevada. Se observa además que con parámetros de temperaturas más bajas de lavado (40 °C) y temperaturas más altas de secado (95°C) la región optima presenta una pendiente más inclinada y más baja, favoreciendo a la eliminación del contenido de agua en el grano.

Finalmente, para poder obtener el parámetro óptimo de temperatura de lavado y secado en función del contenido de humedad, se propuso como meta minimizar el porcentaje de humedad, dando como resultado un valor óptimo de 11.97%, y los parámetros óptimos, como se muestra en la Tabla 12 a continuación.

**Tabla 12**

*Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de humedad*

Parámetros	Parámetro Mínimo	Parámetro Máximo	Parámetros Óptimos
Temperatura de lavado	40.0°C	60.0 °C	40.0 °C
Temperatura de secado	75.0°C	95.0°C	95.0 °C

En la Tabla 12, se muestra la combinación de los niveles de los parámetros, la cual minimiza el porcentaje de humedad sobre la región indicada. Sin embargo, se debe de mencionar que los rangos de temperaturas de tratamientos que se recomiendan a aplicar; son todos los tratamientos propuestos en el diseño. Cumpliendo con el porcentaje de humedad requerido por la Norma Técnica Peruana (NTP 205.062-2009).

A raíz de los resultados óptimos hallados para esta variable, la ecuación de modelo ajustado para el % de humedad correspondiente es:

$$\% \text{ Humedad} = -9.5701 + 0.409657 \cdot T^\circ \text{ Lavado} + 0.282851 \cdot T^\circ \text{ Secado} - 0.00374305 \cdot T^\circ \text{ Lavado}^2 + 0.0 \cdot T^\circ \text{ Lavado} \cdot T^\circ \text{ Secado} - 0.00174305 \cdot T^\circ \text{ Secado}^2 \quad (7)$$

#### 4.2. Optimización de los parámetros de lavado y secado

Para poder obtener el parámetro óptimo de temperatura de lavado y secado en función del contenido de humedad y saponina, se propuso como meta minimizar el porcentaje de Humedad, dando como resultado un valor óptimo de 0.005% de saponina y un valor óptimo de 12.86% de humedad, como se observa en la Figura 31.

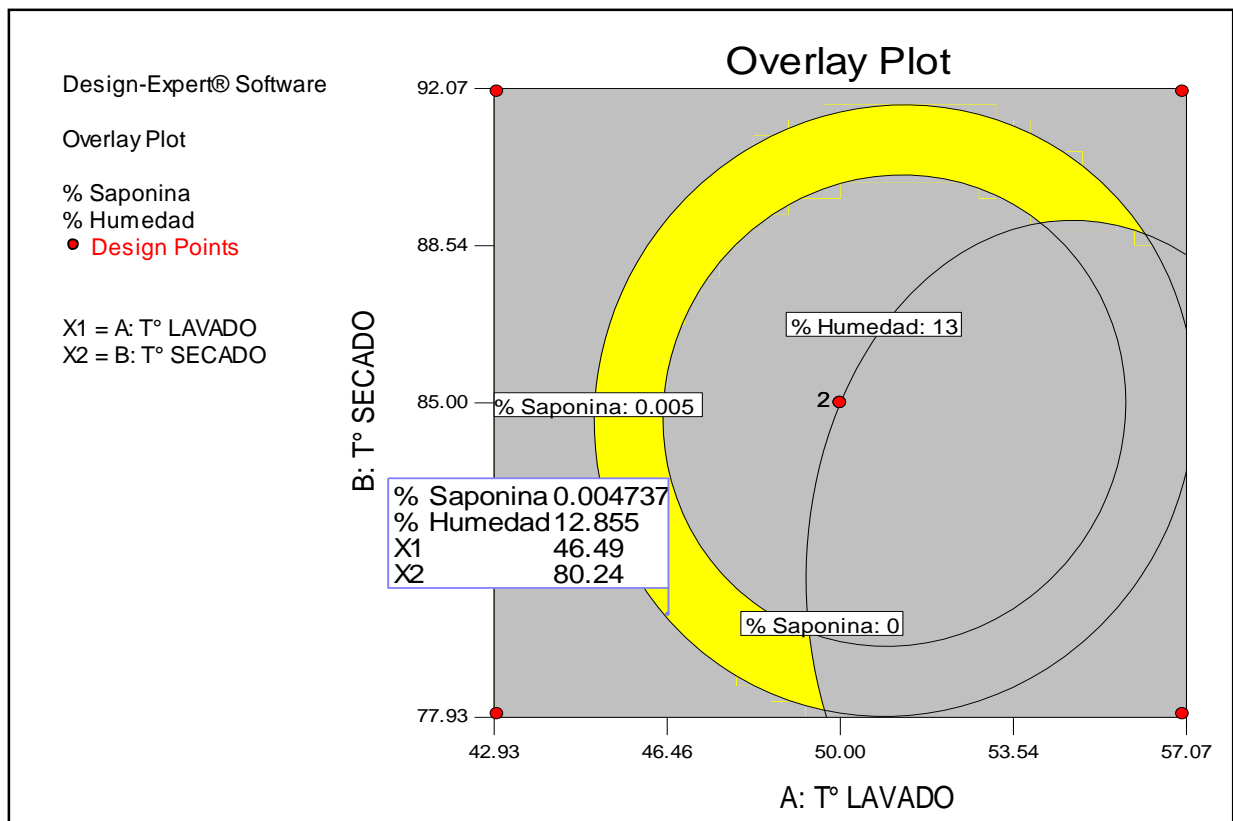


Figura 31. Gráfico de Optimización estimada para el % de humedad y saponina

Los parámetros óptimos para ambas variables de estudio, se muestra en la Tabla 13 a continuación:

**Tabla 13**

*Parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función del porcentaje de humedad y saponina*

<b>Parámetros</b>	<b>Parámetros Óptimos</b>
Temperatura de lavado	46.0 °C
Temperatura de secado	80.0 °C

#### 4.3. Determinación de las propiedades de pasta, mediante un análisis rápido de viscosidad (RVA)

Los parámetros obtenidos mediante el análisis de viscosidad aparente (RVA) de las muestras estudiadas se muestran en la Tabla 14 y la Figura 32.

**Tabla 14**

*Resultados de las propiedades de pasta de 11 muestras, mediante RVA*

<b>PRUEBAS</b>	<b>Unid.</b>	<b>Métodos</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>AMILOGRAMA (Viscosidad RVA)</b>													
<b>Temperatura de pasta</b>	°C	PT-057	65.05	65.05	61.5	63.1	63.9	62.3	69.85	62.65	65.05	64.75	66.60
<b>Tiempo pasta</b>	min	PT-057	10.0	10.0	10.0	9.93	10.0	9.93	10.0	10.0	10.0	9.9	10.0
<b>Pico de viscosidad (Pico 1)</b>	Cp	PT-057	297	306	315	339	343	351	378	348	434	248	382
<b>Fuerza de Retención</b>	Cp	PT-057	298	306	315	338	344	352	380	349	436	245	384
<b>Quiebre (Pico 1 – Fuerza de retención)</b>	Cp	PT-057	-1.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	3.0	-2.0
<b>Viscosidad Final</b>	Cp	PT-057	406	370	406	412	420	459	430	444	491	291	423
<b>Retrogradación (Viscosidad Final – Fuerza de retención)</b>	Cp	PT-057	108	64	91	74	76	107	50	95	55	46	39

Durante el tratamiento de lavado la difusión de agua al interior de los granos es proporcional al incremento de temperatura (Pumacahua, *et al.*, 2016). Los tratamientos 3, 5 y 7 fueron sometidos a temperaturas de 57 y 60 °C de lavado, absorbiendo teóricamente más agua que los demás tratamientos (Tabla 14). La temperatura de pasta varió entre 61.5 a 69.85 °C para todas las muestras. No habiendo influencia de los tratamientos en este valor.

El pico de viscosidad alcanzado durante el cocimiento de la harina de quinua sin tratamiento fue de 297 cP, y de las demás harinas con tratamiento fueron mayores, alcanzando

el máximo el tratamiento 8 (temperatura de lavado de 50 °C y de secado 75 °C) con 434 cP. En todas las harinas no se observa ruptura o caída de la viscosidad durante el calentamiento como suele acontecer con almidones (Pumacahua, *et al.*, 2015). La no existencia de ruptura (Figura 32) demuestra la resistencia de la pasta de harina de quinua durante calentamiento hasta 95 °C. La viscosidad final es mayor que la viscosidad pico. Esto significa que al enfriarse la pasta la viscosidad aumenta, la estructura es firme, no hay liberación de agua al medio. Se observa una leve curvatura antes del final de las curvas, mostrando que algo de agua fue liberado en el enfriamiento. Almidones de quinua, principalmente de la variedad Pasankalla tiene una curva semejante a las harinas de quinua del presente trabajo (Pumacahua, 2014).

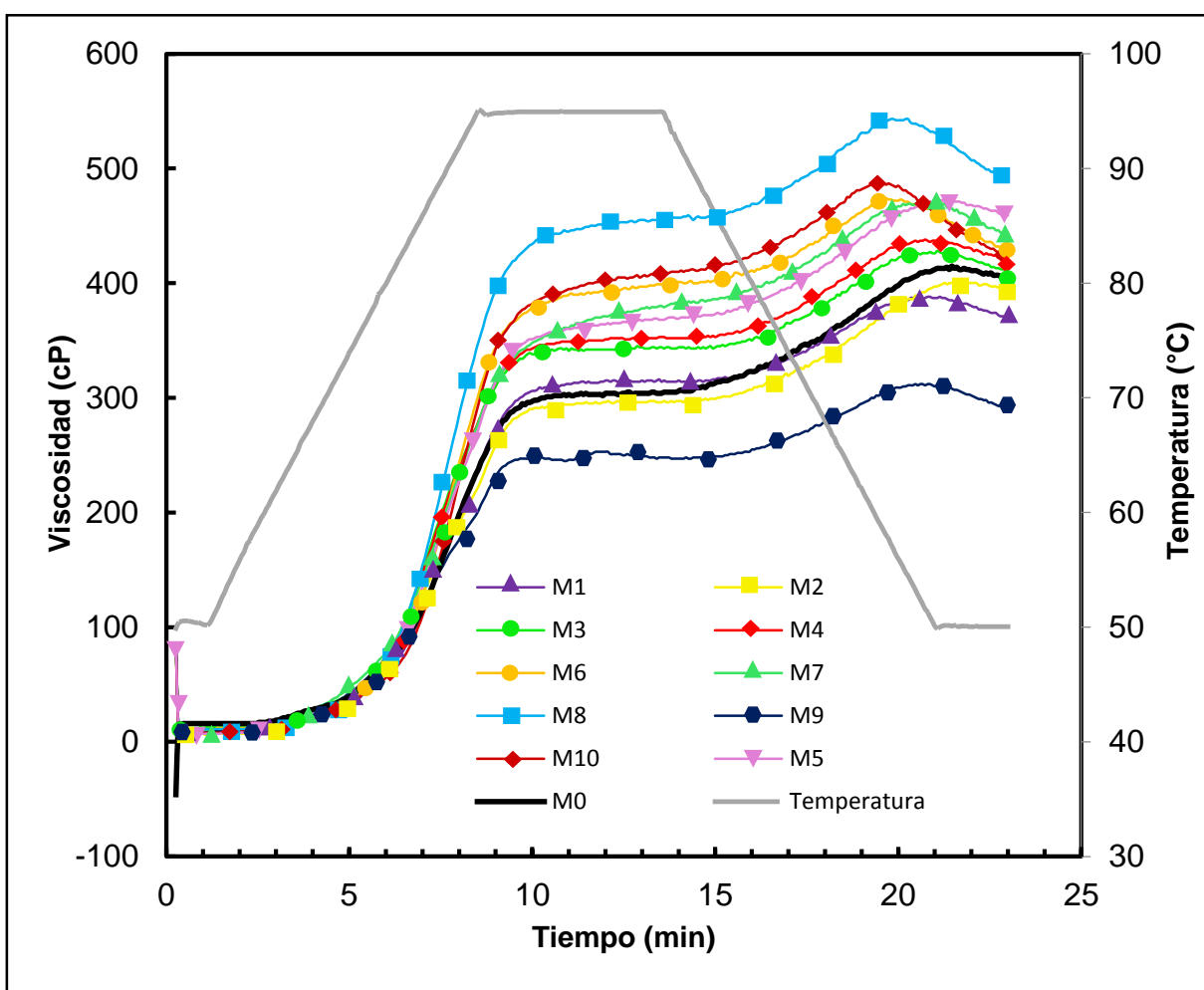


Figura 32. Viscograma de la harina de quinua de las 11 muestras

En forma general los tratamientos no influenciaron negativamente en las propiedades de pasta de la harina de quinua a excepción de la muestra 9. Al contrario, las viscosidades aumentaron comparado a la harina de quinua sin tratamiento. Estas características hacen de

la harina de quinua un excelente aditivo en la elaboración de panes, tortas y otros alimentos que requieren retener agua después del cocimiento. Además, se evidencia que la muestra 1 es el tratamiento que más se aproxima en viscosidad a la de un producto crudo, siendo favorable aplicar estos parámetros y así obtener un producto sin modificaciones en el almidón.

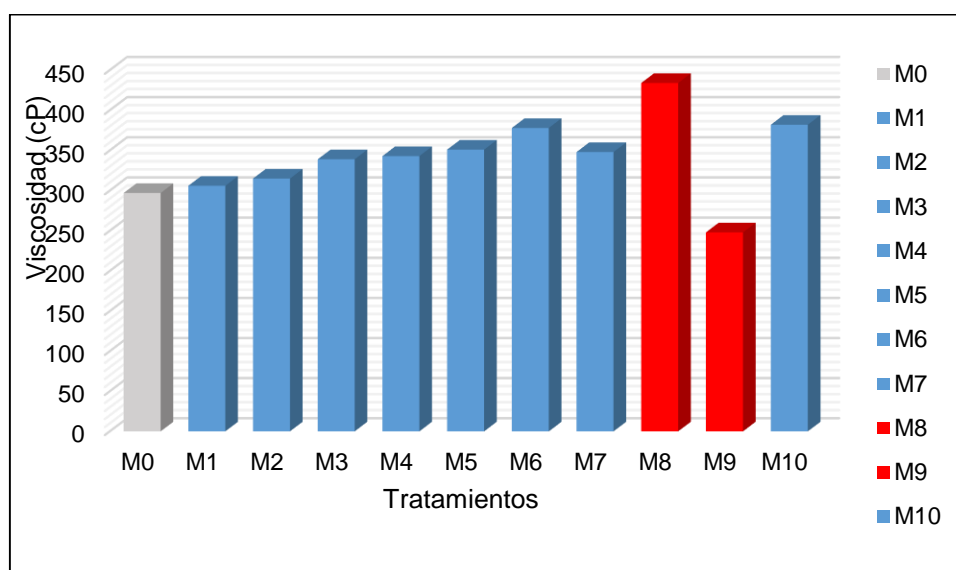
En la Tabla 15, se observan los 11 tratamientos en base al pico de viscosidad encontrado (Pico1), con sus tratamientos de temperatura de lavado y secado respectivamente.

**Tabla 15**

*Picos de viscosidad durante calentamiento en el análisis de RVA.*

N° Muestra	T° LAVADO	T° SECADO	PICO DE VISCOSIDAD
M0	0	0	297
M1	50	85	306
M2	43	78	315
M3	57	78	339
M4	43	92	343
M5	57	92	351
M6	40	85	378
M7	60	85	348
M8	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>434</b>
M9	<b>50</b>	<b>95</b>	<b>248</b>
M10	50	85	382

En la Figura 33, se observa un gráfico de barras en base al pico de viscosidad (Pico1) encontrado, comparadas frente al blanco que representa a la quinua sin tratamiento.



*Figura 33.* Gráfico de barras de la viscosidad en el Pico 1 de la harina de quinua en las once muestras

El tratamiento M8 con temperatura de lavado y secado de 50 y 75 °C, respectivamente alcanzó la máxima viscosidad. Al contrario, el tratamiento M9 con temperatura de lavado y secado de 50 y 95 °C, respectivamente alcanzó la mínima viscosidad. Considerando que el mayor aporte a la viscosidad de la harina lo proporciona el almidón, cambios fisicoquímicos en el almidón permitirán incrementar o disminuir la viscosidad de la pasta. Colman, Demiate y Schnitzler, (2014) afirmaron que almidón de yuca sometido a calentamiento en microondas durante 0, 5, 10 y 15 min mostraron que el tratamiento de 5 min permitió obtener mayor viscosidad que el almidón a 0 min los tratamientos de 10 y 15 min. Esto evidencia que una mayor temperatura de tratamiento afecta a la estructura química de los gránulos de almidón. Esta afirmación puede ser confirmada por el estudio realizado por Scarpeti y Briceño, citados en Mujica *et al.*, (2016), donde ellos afirman que los geles, se obtienen por gelatinización, es decir, a mayores temperaturas se incrementa gradualmente la viscosidad del engrudo de almidón caliente, con ello, la liberación continua de pequeñas cantidades de amilosa, por cuya razón, la amilosa es el principal responsable de la gelificación.

Estas características hacen de los almidones de quinua candidatos para aplicaciones alimenticias donde el alimento debe soportar altas temperaturas en altos tiempos sin pérdida de viscosidad (Pumacahua, 2014).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

En el presente estudio los parámetros de lavado y secado en función del porcentaje de humedad y saponina; cumplen con los requisitos de la Norma Técnica Peruana (NTP 205.062-2009), durante la obtención de quinua perlada.

En los parámetros óptimos de temperatura de lavado y secado en función del contenido de saponina y humedad, se obtuvo que para alcanzar un valor óptimo de 0.005% de saponina y un valor óptimo de 12.85% de humedad, se recomienda aplicar 46 °C como parámetro óptimo de temperatura de lavado y como parámetro óptimo de temperatura de secado se debe aplicar 80 °C.

En forma general los tratamientos no influenciaron negativamente en las propiedades de pasta de la harina de quinua a excepción de la muestra 9. Al contrario, las viscosidades aumentaron comparado a la harina de quinua sin tratamiento. El pico de viscosidad aumentó en 9 tratamientos, y en un tratamiento disminuyó, la máxima viscosidad alcanzada fue de 434 cP, en un tiempo de 10 min. Además, se concluye que la muestra 1 es el tratamiento que más se aproxima a las características de viscosidad de un producto crudo, siendo favorable aplicar estos parámetros y así obtener un producto sin modificaciones en el almidón.

Estas características hacen de la harina de quinua un excelente aditivo en la elaboración de panes, tortas y otros alimentos que requieren retener agua después del cocimiento.

## 5.2. Recomendaciones

A partir de la presente investigación realizada se recomienda:

- Realizar un estudio de optimización de parámetros en base a la viscosidad, considerando el pico 1.
- Realizar un estudio de propiedades de pasta por medio de RVA, comparando con distintas variedades de quinua y otros granos andinos.
- Realizar un estudio de propiedades de pasta por medio de RVA, en otros procesos a la que se somete la quinua.
- Realizar un estudio de gelatinización del almidón de la quinua por el método de Calorimetría diferencial de Barrido (DSC) durante el proceso de perlado.
- Trabajos de inclusión de estas harinas en alimentos industrializados deben ser investigados más a fondo.

## REFERENCIAS

- Ayala, C. (1977). Efecto de localidades en el contenido de proteínas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). (Tesis de Grado). Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno, Perú. 97 p.
- Acosta, A. (2013). Estudio de viscosidad aparente en sistemas simples y multi-fásicos de baja densidad en función de la temperatura, mediante el uso de un visco-analizador. (Tesis de Doctorado) Universidad Autónoma de Queretano. Recuperado de: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/659/1/RI000272.pdf>
- Carrillo, A. (1992). Anatomía de la semilla de *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae* (*Chenopodiaceae*) Huauzontle. (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados, Centro de Botánica. Montecillo, México. 87 p. Recuperado de: <http://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/view/1426/1081>
- Colman, T. A. D., Demiate, I. M., & Schnitzler, E. (2014). The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(3), 2245–2252. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2866-5>
- Contreras, B. L. (2009). *Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento Óhmico*. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional. 107 p. Recuperado de: [http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/4899/1/BL\\_CJ.PDF](http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/4899/1/BL_CJ.PDF)
- Corzo, D. C. (2008). Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd, 1(2), 153–162.
- Diego, J. P. (2008). Tema 4. Sólidos, líquidos y disoluciones (II). Recuperado el 30 de junio del 2017, de [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/Material-de-clase/tema-4.-solidos-liquidos-y-disoluciones-ii/skinless\\_view](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/Material-de-clase/tema-4.-solidos-liquidos-y-disoluciones-ii/skinless_view)
- Espinosa, V. (2008). Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.). (Tesis de Maestría). Instituto

Politécnico Nacional. Recuperado de: [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3598/1/E STUDIOSESTRUCTURALES.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3598/1/E_STUDIOSESTRUCTURALES.pdf)

- Fuentes, F. (2008). Mejoramiento genético de la quinoa. *Agricultura del Desierto*, 4 (71).
- Gandarillas, H. (1982). El cultivo de la quinua. Instituto boliviano de tecnología agropecuaria. La Paz, Bolivia.
- Gianna, V., Montes, J.M., Calandri, E.L. & Guzmán, C.A. (2012). Impact of several variables on the microwave extraction of *Chenopodium quinoa* Willd saponins, *International Journal of Food Science and Technology*, 47, (1593).
- Gómez, A.M., Segura, A., Fernández, A. & Caboni, M.F. (2011). Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) by a liquid chromatography-diode array detection-electrospray ionization-time-of-flight mass spectrometry methodology, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, (10815).
- Grupo Agronegocios (s.f.) *Producción de quinua peruana crece y conquista mercados internacionales*. Recuperado el 27 de noviembre del 2015, de <http://www.agronegocios.pe/negocios/item/191-produccion-de-quinua-peruana-crece-y-conquista-mercados-internacionales>
- Gunsha, L. (2013). Elaboración de un emulsionante cosmético a base de las saponinas del agua de lavado de quinua (*Chenopodium quinoa*) en erpe. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2471/1/56T00352.pdf>
- Guzmán, J. H. (2013). *Competitividad de la quinua perlada para exportación: el caso de Puno*. *Ingeniería Industrial*, (31), 91-112. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337430545005>
- Harmon W. (1905). *El ministerio de curación*. Argentina: Asociación casa Editorial Sudamericana.
- Joshi, R.C., San Martín, R., Saez-Navarrete, C., Alarcon, J., Sainz, J., Antolin M.M. & *et al.*, (2008). Efficacy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins against golden apple snail

- (*Pomacea canaliculata*) in the Philippines under laboratory conditions, *Crop Protection*, 27, (553).
- Jacobsen, E.E., Skadhauge, B., & Jacobsen, S.E. (1997). Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance, *Animal Feed Science and Technology*, 65, (5).
- Kuljanabhadgavad, T., Thongphasuk, P., Chamulitrat, W. & Wink, M. (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd, *Phytochemistry*, 69 (1919).
- López, A. (2010). Estudio comparativo de la funcionalidad de diversos derivados de celulosas como agentes estructurales en alimentos libres de gluten. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27915/TFM%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MacAllister, R. (1979). Nutritive sweeteners made from starch. In: *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, Vol. 36, eds. S. Tipson and D. Horton. Academic Press Inc. New York. p. 15-56.
- Miranda, M., Vega, A., Quispe, I., Rodríguez, M.J., Maureira, H. & Martínez, E.A. (2012). Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotypes from three geographical areas of Chile, *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*, 72(175).
- Miranda, M., Vega, A., Martínez, E.A., López, J., Marín, R., Aranda, M. & Fuentes, F. (2013). Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73, (108).
- Montes, N. (2014). Determinación de saponina. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de: <https://maqsolano.files.wordpress.com/2013/10/practica-nc2b0-2.pdf>
- Moreno, A. & Sanchez, L. (2013). Catálogo de maquinaria para procesamiento de quinua. Lima. Recuperado de: [http://quinua.pe/wp-content/uploads/2014/09/Maquinaria\\_para\\_Quinua.pdf](http://quinua.pe/wp-content/uploads/2014/09/Maquinaria_para_Quinua.pdf).
- Morón, D., Melito, C., Tovar, J. (1998). Effect of indigestible residue from foodstuffs on trypsin and pancreatic amylase activity in vitro. *J. Sci. Food Agric.* 47:171-179. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/227954441\\_Effect\\_of\\_indigestible\\_residue\\_from\\_foodstuffs\\_on\\_trypsin\\_and\\_pancreatic\\_amylase\\_activity\\_in\\_vitro](https://www.researchgate.net/publication/227954441_Effect_of_indigestible_residue_from_foodstuffs_on_trypsin_and_pancreatic_amylase_activity_in_vitro)

- Mujica, A., Izquierdo, J. & Marathee, J.P. (2001). Origen y descripción de la quinua. En Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) – Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO, UNA-Puno, CIP. Santiago, Chile, 9-29. Recuperado de: <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap1.htm>
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G. & Romero, A. (2006). Informe final del Proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos. Recuperado de: <http://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-01-K01-FinalReport.pdf>
- Nickel, J., Spanier, L.P., Botelho, F.T., Gularte, M.A. & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains, *Food Chemistry*, 209 (139).
- NTP. (2009) Norma Técnica Peruana. Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd). Requisitos. 205.062-2009. 1ra Edición.
- Pappier, U., Fernández. V., Larumbe, G. & Vaamonde G. (2008). Effect of processing for saponin removal on fungal contamination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd), *International Journal of Food Microbiology*, 125, 153.
- Paredes L. Bello P. & López M. (1994). Amylopectin: structural, gelatinización and retrogradation studies. *Food Chemistry*. (50), 411-418.
- Pineda P., Acosta A.A., Coral D.F., Rosales A., Sanchez. L.A., Rojas I. & Rodríguez M.E. (2012). Physicochemical characterization of traditional and commercial instant corn flours prepared with threshed white corn, *CyTA - Journal of Food*, 10:4, 287-295, DOI: 10.1080/19476337.2011.653694
- Pumacahua, A. (2011) Influência da temperatura na absorção de Água, Dióxido de Enxofre e Ácido láctico durante a maceração do milho no processo de moagem úmida. (Tesis de Maestría). Asesor: Dr. Jose F. Lopes Filho. São Jose do Rio Prieto: Engenharia e Ciência de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da

Universidade Estaduais Paulistas “Júlio de Mesquita Filho”. 92 pp. Defendido en 2001-10-19

Pumacahua, A., Lopes, J.F., Limaylla, K. & Mayta, E. (2011b). Determinación del coeficiente de difusión del agua durante maceración de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). Presentado en el Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos: Ingeniería de Procesos y Productos. [Poster 5 – 32]. Organizado por Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Agraria de la Molina. Lima. Perú. 5

Pumacahua, A. (2014a). *Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e Mirabilis jalapa*. (Tesis de doctorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Brasil: São José do Rio Preto. Recuperado de: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/128118/000846538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pumacahua, A. (2014b). *Propriedades morfológicas térmicas e químicas de amidos de quatro variedades de quinoa* (Tesis de doctorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Brasil: São José do Rio Preto.

Pumacahua, A., Limaylla-Guerrero, K. M., Telis-Romero, J., & Lopes Filho, J. F. (2016). Hydration kinetics of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) varieties. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 3(0), 23–33.

Pumacahua, A., Mottin, D. I., Schnitzler, E., Bedim, A. C., Telis-Romero, J., & Lopes-Filho, J. F. (2015). Morphological, thermal and physicochemical characteristics of small granules starch from *Mirabilis jalapa* L. *Thermochimica* 602, 1–7. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.01.001>

Rivas, M. (2006). Caracterización fisicoquímica y molecular del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Macho) modificado por métodos químicos. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7621/1/9.pdf>

RVA: Nueva herramienta para evaluar la calidad de cocción del arroz en el portafolio CIAT-FLAR - FLAR. (n.d.). Recuperado abril 26, 2017, de <http://flar.org/rva-nueva-herramienta-para-evaluar-la-calidad-de-coccion-del-arroz-en-el-portafolio-ciat-flar/>

- San Martín, R., Ndjoko, K. & Hostettmann, K. (2008). Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins, *Crop Protection*, 27(3).
- Scarpati, Z. & Briceño P.O. 1980. Evaluación de la composición química y nutricional de algunas entradas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del banco de germoplasma de la Universidad Técnica del Altiplano. *Annales Científico* 18: 125–143.
- Spence, K. E., & Jane, J. (1999). Chemical and physical properties of ginkgo (*Ginkgo biloba*) starch. *Carbohydrate Polymers*. 40(4), 261-269. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861799000594>
- Tapia, M. (1997). Agronomía de los cultivos Andinos en: *Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.*, Santiago Chile., FAO., pp. 147-163.
- Valencia, S. (2003). Quinoa, en: “*Encyclopedia of Food Science and Nutrition*”, Editado por B. Cabalero, Academic Press, Amsterdam, pp. 4895- 4902.
- Yao, Y., Yang, X., Shi, Z. & Ren, G. (2014). Anti-Inflammatory activity of saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds in lipopolysaccharide-stimulated *RAW 264.7 macrophages cells*, *Journal of Food Science*, 79, H1018.
- Zaga, I. (2008). Diseño de una Planta de desaponificado y secado de quinua. Recuperado el 27 de noviembre del 2015, de <http://myslide.es/documents/disenodeuna-planta-de-desaponificado-y-secado-de-quinua-original.html>
- Zurita, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. E. & Schwember, A. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): potential and perspectives, *Molecular Breeding*, 34 (13).

# **ANEXOS**

### Anexo A – Matriz de Indicadores del proyecto de investigación

Objetivo	VARIABLES DE ESTUDIO	Indicadores	Escala de medición	Instrumento de medición
<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar las propiedades de pasta de la harina de quinua durante en el proceso de lavado</p>	<p>Temperatura de lavado</p> <p>Temperatura de secado</p>	<p>% Humedad</p> <p>% Saponina</p> <p>Temperatura de pasta</p> <p>Tiempo de pasta</p> <p>Pico de viscosidad</p> <p>Fuerza de retención</p> <p>Punto de quiebre</p> <p>Viscosidad final</p> <p>Retrogradación</p>	<p>% Humedad relativa</p> <p>% Saponina</p> <p>°C Grados Celsius</p> <p>Tiempo (min)</p> <p>Temperatura (T°)</p> <p>Viscosidad</p> <p>Centipoise (cP).</p>	<p>Medidor de humedad</p> <p>Método de la espuma</p> <p>Termómetro de Infrarrojo superficial.</p> <p>Analizador rápido de viscosidad (RVA)</p>
<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Determinar los parámetros óptimos de temperaturas de lavado y secado en función de los porcentajes de saponina y humedad</p>	<p>Temperatura óptima de lavado</p> <p>Temperatura óptima de secado</p>	<p>Humedad</p> <p>Saponina</p>	<p>% Humedad relativa</p> <p>% Saponina</p>	<p>Medidor de humedad</p> <p>Método de la espuma</p>
<p>b) Determinar las propiedades de pasta, (temperatura de pasta, tiempo de pasta, pico de viscosidad, fuerza de retención, punto de quiebre, viscosidad final y retrogradación) de la harina de quinua, mediante un análisis rápido de viscosidad (RVA).</p>	<p>Propiedades de pasta</p>	<p>Temperatura de pasta</p> <p>Tiempo de pasta</p> <p>Pico de viscosidad</p> <p>Fuerza de retención</p> <p>Punto de quiebre</p> <p>Viscosidad final</p> <p>Retrogradación</p>	<p>Tiempo (min)</p> <p>Temperatura (T°)</p> <p>Viscosidad</p> <p>(<math>\mu</math>,Kg/m.s)</p>	<p>Analizador rápido de viscosidad (RVA)</p>

**Anexo B – Resultados del diseño compuesto central 2<sup>2</sup> + estrella, en función de los porcentajes de saponina y humedad**

N° Trata mien tos	T° Lavado (°C)	T° Secado (°C)	1era Repetición					2da Repetición					3ra Repetición				
			Saponina				% Hume dad	Saponina				% Hum edad	Saponina				% Hume dad
			Gramos de Muestra	Altura Espuma (mm)	Altura Espuma (cm)	% Saponina		Gramos de Muestra	Altura. Espuma (mm)	Altura Espuma (cm)	% Saponina		Gramos de Muestra	Altura Espuma (mm)	Altura Espuma (cm)	% Saponina	
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0.51	16.8	1.68	<b>0.192</b>	<b>11.2</b>	0.51	30.59	3.059	<b>0.367</b>	<b>11.1</b>	0.51	39.54	3.954	<b>0.480</b>	<b>10.9</b>
<b>1</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	0.51	0.67	0.067	<b>-0.012</b>	<b>13</b>	0.51	2	0.200	<b>0.005</b>	<b>13</b>	0.51	0.65	0.065	<b>-0.012</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>43</b>	<b>78</b>	0.51	2.8	0.28	<b>0.015</b>	<b>13</b>	0.51	5.61	0.561	<b>0.051</b>	<b>13</b>	0.51	4.46	0.446	<b>0.036</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>57</b>	<b>78</b>	0.51	1.92	0.192	<b>0.004</b>	<b>13</b>	0.51	2.05	0.205	<b>0.006</b>	<b>13</b>	0.51	1.54	0.154	<b>-0.001</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>43</b>	<b>92</b>	0.51	4.41	0.441	<b>0.035</b>	<b>13</b>	0.51	4.65	0.465	<b>0.039</b>	<b>13</b>	0.51	4.18	0.418	<b>0.033</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>57</b>	<b>92</b>	0.51	1.61	0.161	<b>0.000</b>	<b>13</b>	0.51	1.82	0.182	<b>0.003</b>	<b>13</b>	0.51	1.52	0.152	<b>-0.001</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>40</b>	<b>85</b>	0.51	2.05	0.205	<b>0.006</b>	<b>12.2</b>	0.51	3.39	0.339	<b>0.023</b>	<b>12.1</b>	0.51	4.15	0.415	<b>0.032</b>	<b>11.9</b>
<b>7</b>	<b>60</b>	<b>85</b>	0.51	4.84	0.484	<b>0.041</b>	<b>13</b>	0.51	3.74	0.374	<b>0.027</b>	<b>13</b>	0.51	5.23	0.523	<b>0.046</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	0.51	3.5	0.35	<b>0.024</b>	<b>13</b>	0.51	3	0.300	<b>0.018</b>	<b>13</b>	0.51	3.04	0.304	<b>0.018</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>50</b>	<b>95</b>	0.51	3.83	0.383	<b>0.028</b>	<b>12.5</b>	0.51	3.22	0.322	<b>0.020</b>	<b>12.4</b>	0.51	3.68	0.368	<b>0.026</b>	<b>12.5</b>
<b>10</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	0.51	0.73	0.073	<b>-0.011</b>	<b>13</b>	0.51	1.63	0.163	<b>0.000</b>	<b>13</b>	0.51	0.7	0.07	<b>-0.012</b>	<b>13</b>

**Anexo C – Fotografías del análisis de saponina de la quinua**



## Anexo D – Fotografías de las evidencias del molido de quinua



## Anexo E – Requerimientos bromatológicos de la norma técnica peruana para granos de quinua

---

NORMA TÉCNICA  
PERUANA

---

NTP 205.062  
1 de 15

### QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd). Requisitos

#### 1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las características que deben reunir los granos de quinua procesada (beneficiada), para establecer su clase y grado, en el momento de su comercialización.

#### 2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

##### 2.1 Normas Técnicas Internacionales

- |       |                                 |  |
|-------|---------------------------------|--|
| 2.1.1 | CODEX STAN 1:1985<br>Rev.6-2008 | Norma General para el etiquetado de los alimentos preenvasados   |
| 2.1.2 | ISO 4831:2006                   | Microbiology of food and animal feeding stuffs -- Horizontal method for the detection and enumeration of coliforms -- Most probable number technique |

**5.2 Requisitos bromatológicos**

Los requisitos bromatológicos que deben cumplir los granos de quinua, se especifican en la Tabla 1.

**TABLA 1 - Requisitos bromatológicos de los granos de quinua**

Requisitos	Unidad	Valores		Método de ensayo
		Mín.	Máx.	
Humedad	%		13,5	AOAC 945.15
Proteínas	%	10		AOAC 992.23
Cenizas	%		3,5	AOAC 945.38
Grasa	%	4,0		AOAC 945.38 - 920.39 C
Fibra cruda	%	3,0		AOAC 945.38 - 962.09 E
Carbohidratos	%	65		Determinación Indirecta por la diferencia de 100 en %
Saponinas	mg/100 g	Ausencia		Método de la espuma

NOTA 1: Los valores referidos están expresados en base seca.

NOTA 2: La unidad en la que se expresa el contenido de saponina es en mg/100g. El valor de 120 mg/100g es equivalente a 0,12 %.

NOTA 3: Como información al consumidor, los granos de quinua no contienen gluten.

## Anexo F – Reporte de los análisis de RVA en los laboratorios de GRANOTEC S.A.C. de la muestra 0 al 5

Nutrición y Biotecnología para la Salud

**GRANOTEC**

Código: FT-019  
 Versión: 03  
 Fecha de Vigencia:  
 Página: 1 de 1  
**25-12-17**

### Reporte de Análisis

FECHA : 20-09-16  
 SOLICITANTE : ALEXANDER GUZMAN MANZANO  
 DIRECCIÓN :

ORDEN DE SERVICIO : Nº 170641  
 COTIZACIÓN : ----

PRODUCTO : 6 muestras de harina de quinua

Fecha de recepción : 23-08-16  
 Fecha de análisis : 26-08-16

#### RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

PRUEBAS	Und	Métodos	0	1	2	3	4	5
<b>AMILOGRAMA (Viscosidad RVA)</b>								
Pasting Temperature	°C	PT-057	65.05	65.05	61.5	63.1	63.9	62.3
Peak Time	min	PT-057	10.0	10.0	10.0	9.93	10.0	9.93
Peak 1	cp	PT-057	297	306	315	339	343	351
Trough (Holding Strength)	cp	PT-057	298	306	315	338	344	352
Breakdown (Peak viscosity – Trough)	cp	PT-057	-1.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	-1.0
Final Viscosity	cp	PT-057	406	370	406	412	420	459
Setback (Final Viscosity – Trough) Retrogradación	cp	PT-057	108	64	91	74	76	107

Pasting Temperature : Temperatura inicial de la gelatinización.

Peak Time : Tiempo donde se inicia la gelatinización de la mezcla.

Peak 1 o Peak Viscosity : Viscosidad en el punto donde se inicia la gelatinización de la mezcla.

Trough : Viscosidad de caída.

Final Viscosity : Viscosidad final.

GRANOTEC PERU S.A.  
*Alexander Guzman Manzano*  
 Alexander Guzman Manzano  
 Gerente Técnico



Granotec Perú S.A.  
 Av. Los Ingenieros No. 112  
 Urb. Santa Raquel II Etapa, Lima 3

Tel.: +51 (1) 349-7788  
[www.granotec.com](http://www.granotec.com)

Transferencia  
 Tecnológica  
 Capacitación

Innovación  
 Investigación  
 y Desarrollo

Nutrientes e  
 Ingredientes  
 Productos

Garantía  
 Calidad y  
 Compromiso



## Anexo G – Reporte de los análisis de RVA en los laboratorios de GRANOTEC S.A.C. de la muestra 6 a la muestra 10

Nutrición y Biotecnología para la Salud

**GRANOTEC**

Código: FT-019  
 Versión: 03  
 Fecha de Vigencia: 05/08/2010  
 Página: 1 de 1  
 25-12-17

### Reporte de Análisis

FECHA : 24-11-16  
 SOLICITANTE : ALEXANDER GUZMAN MANZANO  
 DIRECCIÓN :  
 ORDEN DE SERVICIO : Nº 170657  
 COTIZACIÓN : ---  
 PRODUCTO : 6 muestras de harina de quinua  
 Fecha de recepción : 5-11-16  
 Fecha de análisis : 24-11-16

#### RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

PRUEBAS	Und	Métodos	6	7	8	9	10
<b>AMILOGRAMA (Viscosidad RVA)</b>							
Pasting Temperature	°C	PT-057	69.85	62.65	65.05	64.75	66.60
Peak Time	min	PT-057	10.0	10.0	10.0	9.93	10.0
Peak 1	cp	PT-057	378	348	434	248	382
Trough (Holding Strength )	cp	PT-057	380	349	436	245	384
Breakdown (Peak viscosity – Trough)	cp	PT-057	-2.0	-1.0	-2.0	3.0	-2.0
Final Viscosity	cp	PT-057	430	444	491	291	423
Setback (Final Viscosity – Trough) Retrogradación	cp	PT-057	50	95	55	46	39

Pasting Temperature : Temperatura inicial de la gelatinización.

Peak Time : Tiempo donde se inicia la gelatinización de la mezcla.

Peak 1 o Peak Viscosity : Viscosidad en el punto donde se inicia la gelatinización de la mezcla.

Trough : Viscosidad de caída.

Final Viscosity : Viscosidad final.

GRANOTEC PERÚ S.A.  
 Alexander Guzman Manzano  
 Muestra Condensar Morales  
 Gerente Técnico



Granotec Perú S.A.  
 Av. Los Ingenieros No. 112  
 Urb. Santa Fe del Espino, Lima 3

Tel.: +51 (0) 349-7700  
[www.granotec.com](http://www.granotec.com)

Transferencia  
 Tecnológica  
 Capacitación

Innovación  
 Investigación  
 y Desarrollo

Nutrientes e  
 Ingredientes  
 Productos

Garantía  
 Calidad y  
 Compromiso



## Anexo H – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 0

25-12-17

### Informe TCW3

23/09/2016 11:07:39a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Destalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua2016090808450001

Fecha 2016/09/08

Tiempo 08:45:58

Probador Granotec RVA

Instrumento 2122756

Peso de muestra 2.80 (g)

Peso del agua 25.20 (g)

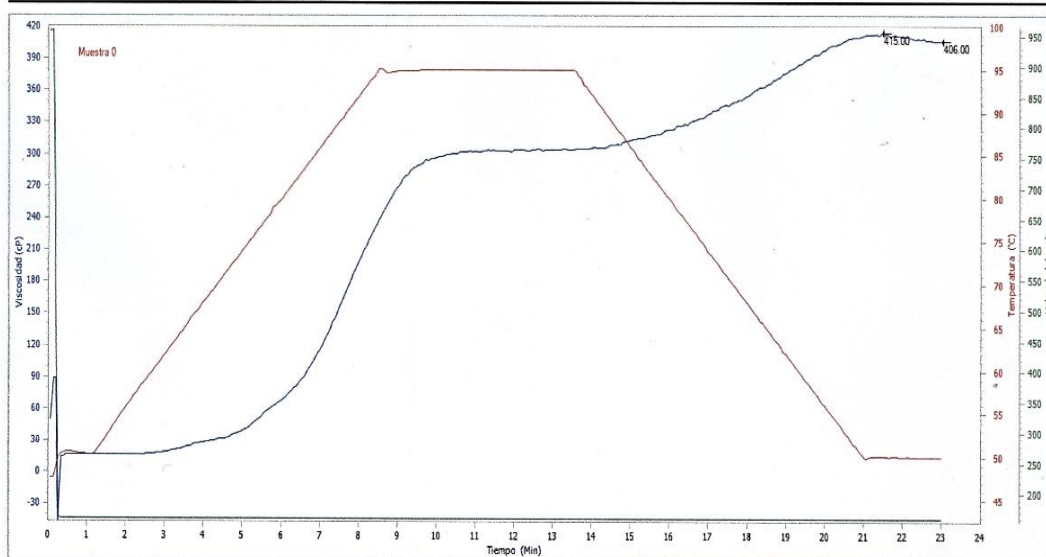
Humedad de muestra 11.00 (%)

Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trougt	Breakdown
01 harina de tesis quinua20160908084500	297.00	10.00	415.00	406.00	298.00	-1.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua20160908084500	108.00	65.05



## Anexo I – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 1

### Informe TCW3

23/09/2016 11:08:12a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Detalles de la prueba

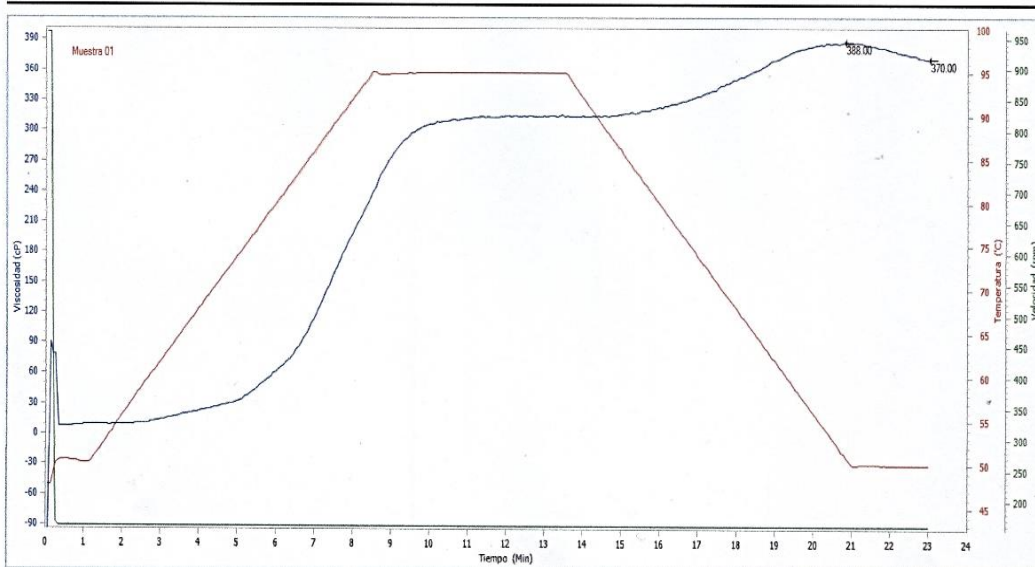
01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinoa2016090716090001  
Fecha 2016/09/07 Tiempo 04:09:58 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinoa20160907160900	306.00	10.00	388.00	370.00	306.00	0.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinoa20160907160900	64.00	65.05



## Anexo J – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 2

### Informe TCW3

23/09/2016 11:06:15a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

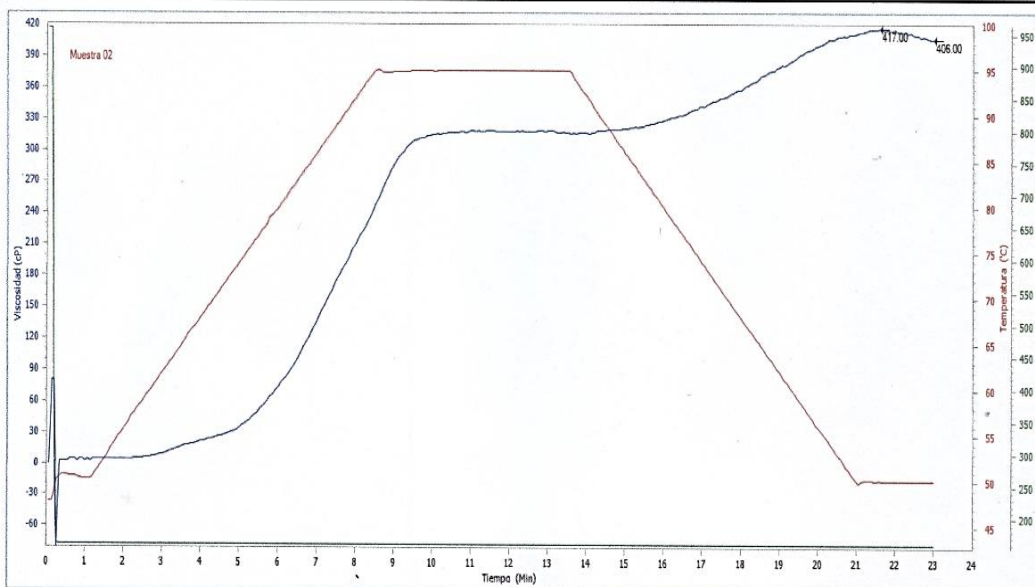
#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinoa2016091915590001  
Fecha 2016/09/19 Tiempo 03:59:33 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trougt	Breakdown
01 harina de tesis quinoa201609191559000	315.00	10.00	417.00	406.00	315.00	0.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinoa201609191559000	91.00	61.50



## Anexo K – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 3

### Informe TCW3

23/09/2016 11:08:57a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Destalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinoa2016090715340001

Fecha 2016/09/07

Tiempo 03:34:28

Probador Granotec RVA

Instrumento 2122756

Peso de muestra 2.80 (g)

Peso del agua 25.20 (g)

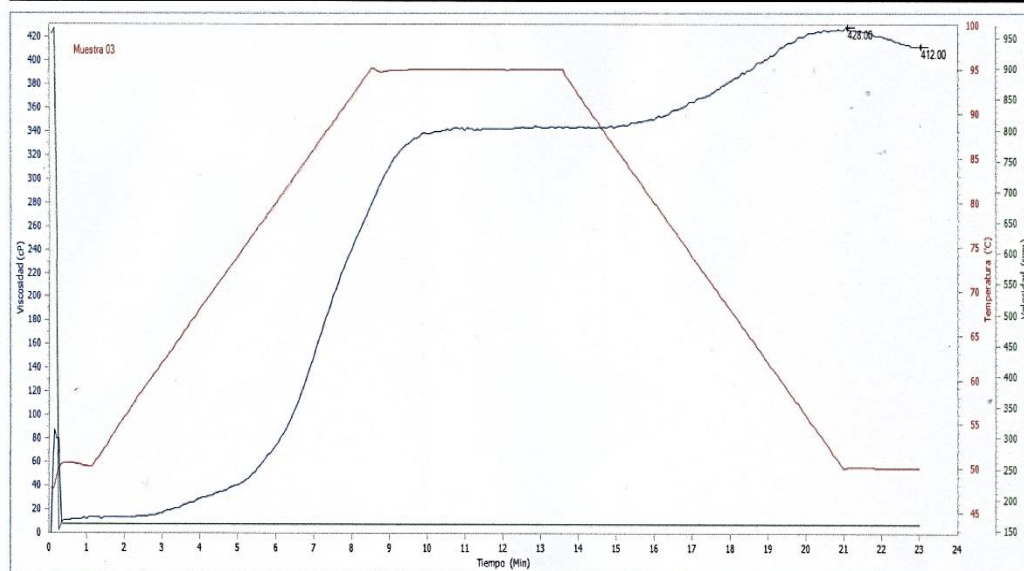
Humedad de muestra 11.00 (%)

Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trougt	Breakdown
01 harina de tesis quinoa20160907153400	339.00	9.93	428.00	412.00	338.00	1.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinoa20160907153400	74.00	63.10



## Anexo L – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 4

### Informe TCW3

23/09/2016 11:09:23a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua2016090809130001

Fecha 2016/09/08

Tiempo 09:13:32

Probador Granotec RVA

Instrumento 2122756

Peso de muestra 2.80 (g)

Peso del agua 25.20 (g)

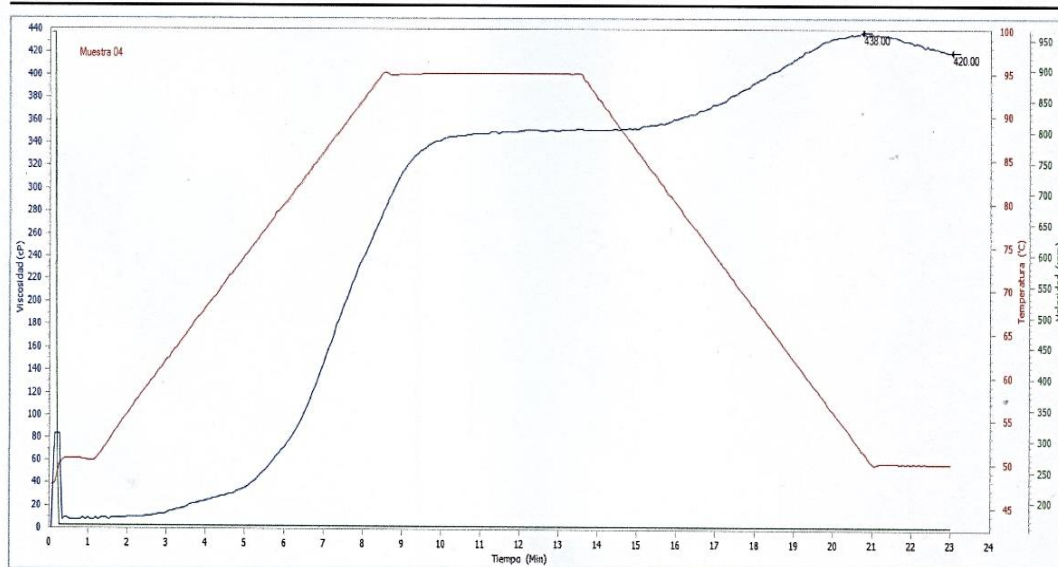
Humedad de muestra 11.00 (%)

Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinua20160908091300	343.00	10.00	438.00	420.00	344.00	-1.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua20160908091300	76.00	63.90



## Anexo M – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 5

### Informe TCW3

23/09/2016 11:10:13a.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinoa201609080942001

Fecha 2016/09/08

Tiempo 09:42:59

Probador Granotec RVA

Instrumento 2122756

Peso de muestra 2.80 (g)

Peso del agua 25.20 (g)

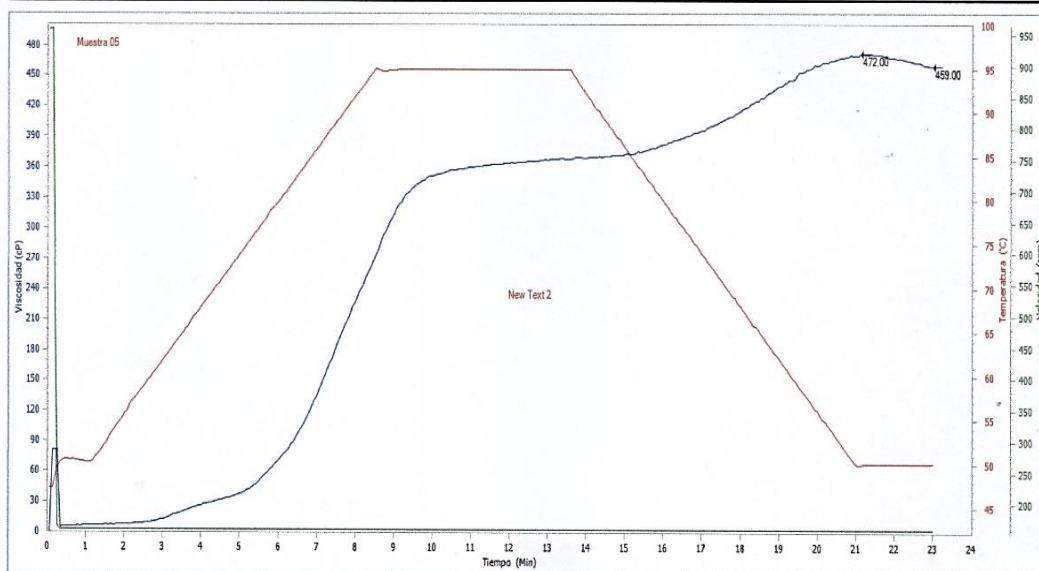
Humedad de muestra 11.00 (%)

Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinoa20160908094200	351.00	9.93	472.00	459.00	352.00	-1.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinoa20160908094200	107.00	62.30



## Anexo N – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 6

### Informe TCW3

24/11/2016 05:45:00p.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

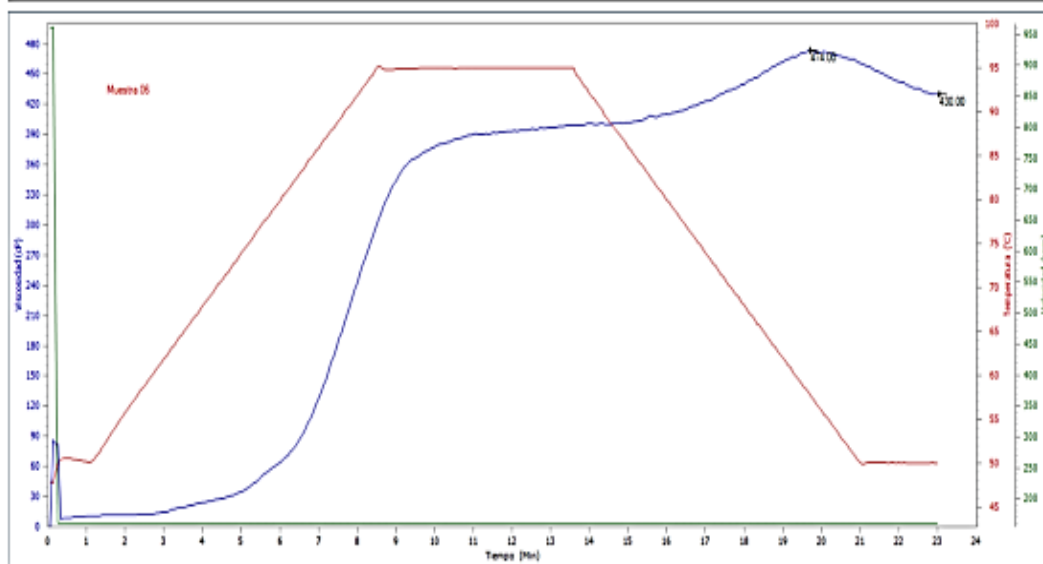
#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua - Muestra 06  
 Fecha 2016/11/16 Tiempo 12:35:35 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
 Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trougt	Breakdown
01 harina de tesis quinua - Muestra 06	378.00	10.00	474.00	430.00	380.00	-2.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua - Muestra 06	50.00	69.85



## Anexo O – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 7

### Informe TCW3

24/11/2016 05:55:40p.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

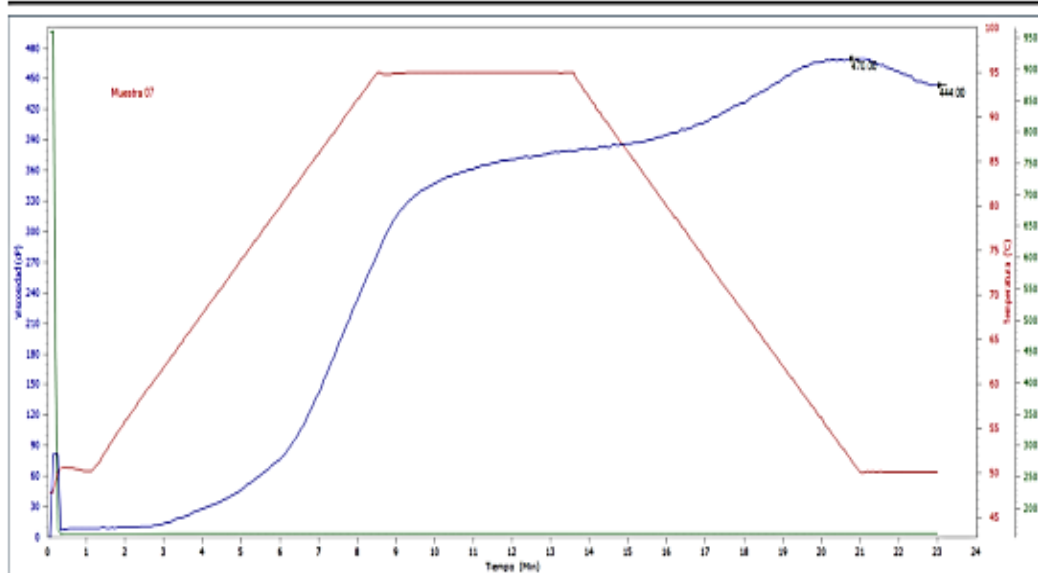
#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua - Muestra 07  
 Fecha 2016/11/16 Tiempo 03:09:41 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
 Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinua - Muestra 07	348.00	10.00	470.00	444.00	349.00	-1.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua - Muestra 07	95.00	62.65



## Anexo P – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 8

### Informe TCW3

24/11/2016 05:48:54p.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

#### Detalles de la prueba

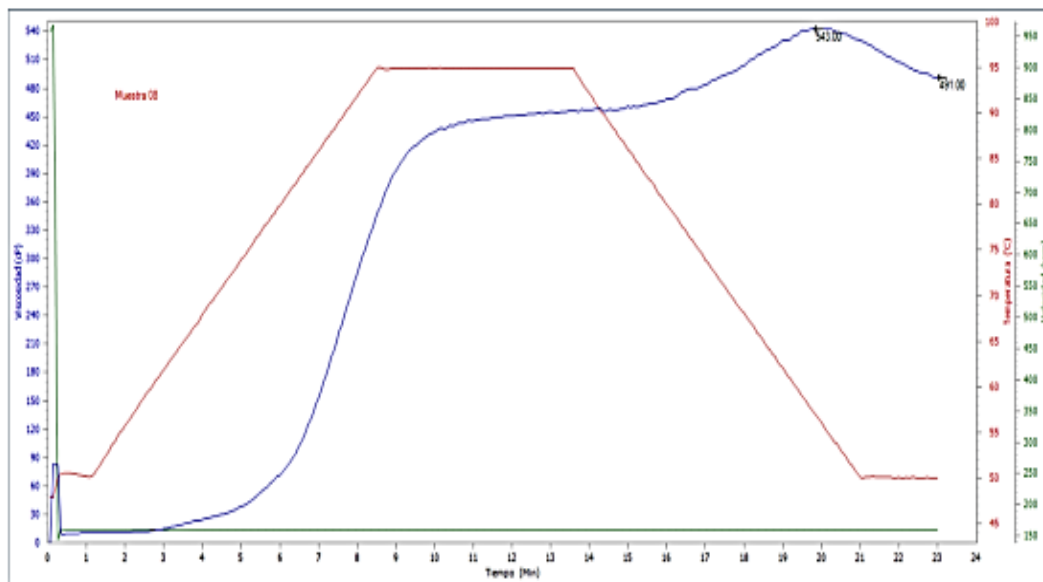
01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua - Muestra 08

Fecha 2016/11/16	Tiempo 02:29:14	Probador Granotec RVA	Instrumento 2122756
Peso de muestra 2.80 (g)	Peso del agua 25.20 (g)	Humedad de muestra 11.00 (%)	Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinua - Muestra 08	434.00	10.00	543.00	491.00	436.00	-2.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua - Muestra 06	55.00	65.05



## Anexo Q – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 9

### Informe TCW3

24/11/2016 06:00:15p.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

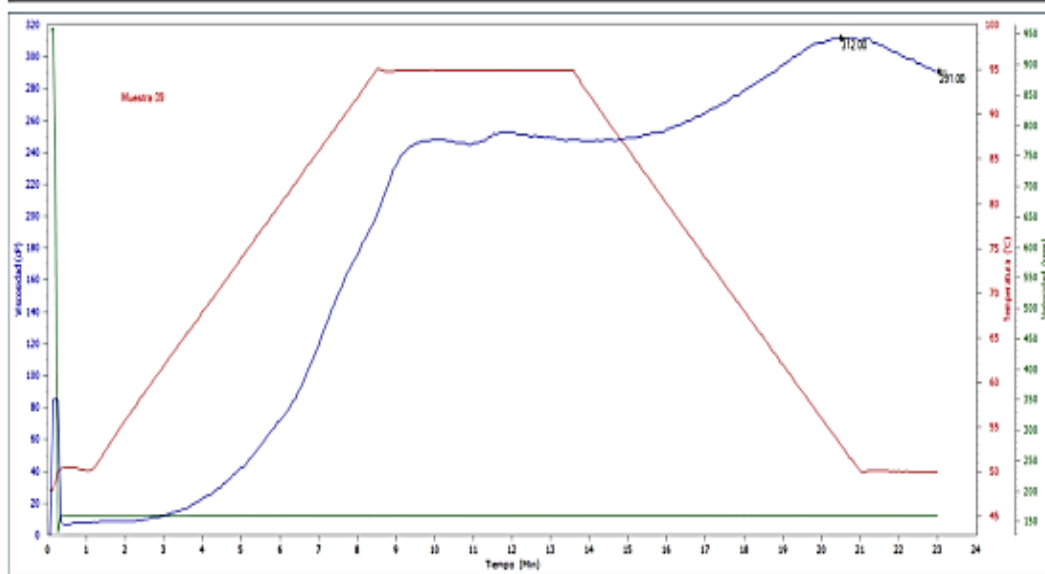
#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua - Muestra 09  
 Fecha 2016/11/16 Tiempo 03:41:45 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
 Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinua - Muestra 09	248.00	9.93	312.00	291.00	245.00	3.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua - Muestra 09	46.00	64.75



## Anexo R – Gráfico de los análisis de RVA de la muestra 10

### Informe TCW3

24/11/2016 06:03:11p.m. Usuario Granotec RVA

ID de Seguridad = 112548239348290

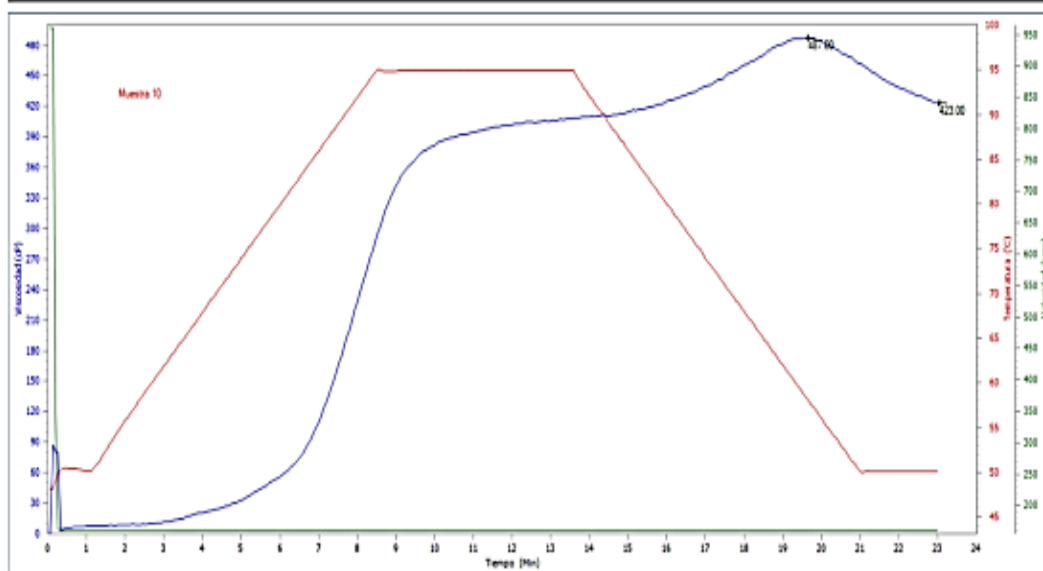
#### Detalles de la prueba

01 C:\Users\Granotec RVA\Documents\TCW3 Data\harina de tesis quinua - Muestra 10  
 Fecha 2016/11/16 Tiempo 04:47:56 Probador Granotec RVA Instrumento 2122756  
 Peso de muestra 2.80 (g) Peso del agua 25.20 (g) Humedad de muestra 11.00 (%) Humedad base 11.00 (%)

#### Resultados de la prueba

Test	Peak 1	PeakTime	Max. Visc	Final Visc	Trough	Breakdown
01 harina de tesis quinua - Muestra 10	382.00	10.00	487.00	423.00	384.00	-2.00

Test	Setback	Pasting Temp
01 harina de tesis quinua - Muestra 10	39.00	66.60



### Anexo S – Análisis de Varianza para los porcentajes de saponina

#### Análisis de Varianza para % Saponina (R-Cuadrada = 58.31%)

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: T° Lavado	0.000204204	1	0.000204204	0.71	0.4468
B: T° Secado	0.00000502988	1	0.00000502988	0.02	0.9012
AA	0.00120147	1	0.00120147	4.18	0.1104
AB	0.00000385484	1	0.00000385484	0.01	0.9134
BB	0.000764387	1	0.000764387	2.66	0.1783
Error total	0.00114993	4	0.000287483		
Total (corr.)	0.00275803	9			

### Anexo T – Análisis de Varianza para los porcentajes de humedad

#### Análisis de varianza para % humedad (R-Cuadrada= 78.56%)

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: T° Lavado	0.494893	1	0.494893	10.01	0.0341
B: T° Secado	0.0718204	1	0.0718204	1.45	0.2946
AA	0.157888	1	0.157888	3.19	0.1485
AB	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
BB	0.0342387	1	0.0342387	0.69	0.4522
Error total	0.197814	4	0.0494536		
Total (corr.)	0.922581	9			

## Anexo U – Descripción de la metodología empleada para la determinación de saponina en el grano de quinua

### Metodología para la determinación de saponina por el método normal

A continuación, se describe la metodología y los cálculos realizados en la investigación para la determinación de saponina por el método normal de la espuma:

- Pesar  $0.50 \pm 0.02$  g de granos enteros de quinua y colocarlos en un tubo de ensayo.
- Añadir 5.0 ml de agua destilada y tapar el tubo. Poner en marcha el cronómetro (o leer el reloj) y sacudir vigorosamente el tubo durante 30 segundos.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos, luego sacudir otra vez durante 20 segundos.
- Dejar en reposo durante 30 minutos más, luego sacudir otra vez durante 30 segundos. Dar al tubo una última sacudida fuerte, igual a las sacudidas que se usan con termómetros orales.
- Dejar el tubo en reposo 5 minutos, luego medir la altura de la espuma al 0.1 cm más cercano.

Cálculos:

$$\text{mg saponinas/g peso fresco} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de muestra en g})}$$

$$\% \text{ saponinas} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de muestra en g})} \times (10)$$

## Anexo V – Descripción de la metodología empleada para la decodificación de los valores del diseño experimental

- **Decodificación de Valores en el Diseño Compuesto Central (DCC)**

Para evitar que los tratamientos que se apliquen en los experimentos se encuentren fuera de los niveles máximos y mínimos, se debe de determinar los valores de los puntos factoriales. Una de las formas más adecuadas para pasar de la escala codificada (matriz de diseño  $X_j$ ) a la escala natural  $Z_j$ , se utiliza las siguientes fórmulas:

$$\text{Número de tratamientos} = N = 2^P + 2P + C$$

$$\text{Centro del diseño} = Z_j^0 = (Z_j^{\max} + Z_j^{\min})/2$$

$$\text{Radio del diseño} = \Delta Z_j^0 = (Z_j^{\max} - Z_j^{\min})/2$$

$$\text{La ecuación decodificada es} = Z_j = Z_j^0 + (X_j/\infty) (\Delta Z_j^0)$$

$$\text{Valor de } \infty = (\text{Número de corridas del factorial})^{1/4} = (2^P)^{1/4}$$

Donde:

- N : Es el número total de tratamientos y observaciones.
- 2p : Es el número de tratamientos básicos de la parte factorial o combinaciones de tratamiento.
- 2P : Corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella o combinación de tratamientos en los puntos axiales del diseño.
- C : Constituye el tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o réplicas en el centro del diseño. (0)
- p : Número de factores en estudio o variables.
- $\infty$  : Puntos estrellas o axiales, niveles mínimos y máximos ( $-\infty$  y  $\infty$ )

A continuación se muestran los factores que fueron empleadas en la investigación:

Q. BLANCA	NIVELES	
	MIN	MAX
T° LAVADO	40	60
T° SECADO	75	95

Considerando que tenemos dos factores, dos niveles y dos puntos centrales, necesitamos determinar el número de tratamientos de la siguiente manera:

$$N = 2^P + 2P + C = 2^2 + 2(2) + 2 = 10$$

Así también es necesario determinar el valor de  $\alpha$  para el diseño de dos factores:

$$\alpha = (2^2)^{1/4} = 1.41421$$

○ **Decodificación de valores para la temperatura de lavado**

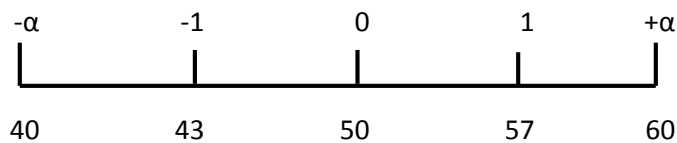
$$\text{Centro del diseño} = Z_J^0 = (Z_J^{\max} + Z_J^{\min})/2 = (60 + 40)/2 = 50$$

$$\text{Radio del diseño} = \Delta Z_J^0 = (Z_J^{\max} - Z_J^{\min})/2 = (60 - 40)/2 = 10$$

$$\text{La ecuación decodificada para } (-1) \text{ es: } 50 + ((-1)/1.41421)*(10) = 42.928914 = 43$$

$$\text{La ecuación decodificada para } (+1) \text{ es: } 50 + ((+1)/1.41421)*(10) = 57.071086 = 57$$

Por lo tanto, para temperatura de lavado sus valores serían



○ **Decodificación de valores para la temperatura de secado**

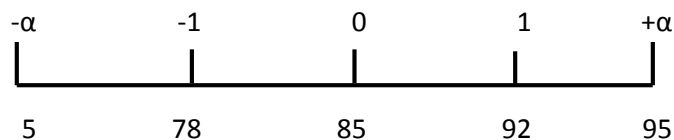
$$\text{Centro del diseño} = Z_J^0 = (Z_J^{\max} + Z_J^{\min})/2 = (95 + 75)/2 = 85$$

$$\text{Radio del diseño} = \Delta Z_J^0 = (Z_J^{\max} - Z_J^{\min})/2 = (95 - 75)/2 = 10$$

$$\text{La ecuación decodificada para } (-1) \text{ es: } 85 + ((-1)/1.41421)*(10) = 77.928914 = 78$$

$$\text{La ecuación decodificada para } (+1) \text{ es: } 85 + ((+1)/1.41421)*(10) = 92.071086 = 92$$

Por lo tanto, para temperatura de secado sus valores serían



Finalmente los valores decodificados en el diseño compuesto central  $2^2 +$  estrella serían:

N° Runs	Bloques	Codificado		Decodificado	
		T° LAVADO	T° SECADO	T° LAVADO	T° SECADO
1	1	0	0	50	85
2	1	-1	-1	43	78
3	1	1	-1	57	78
4	1	-1	1	43	92
5	1	1	1	57	92
6	1	-1.41421	0	40	85
7	1	1.41421	0	60	85
8	1	0	-1.41421	50	75
9	1	0	1.41421	50	95
10	1	0	0	50	85